UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS A. C. SIMÕES
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ CARLOS DOS SANTOS JÚNIOR

TÍTULO DO TRABALHO: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BrIM PARA O REGISTRO E ANÁLISE DE INFORMAÇÕES NA AVALIAÇÃO E MANUTENÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

MACEIÓ
2025

JOSÉ CARLOS DOS SANTOS JÚNIOR

TÍTULO DO TRABALHO: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BrIM PARA O REGISTRO E ANÁLISE DE INFORMAÇÕES NA AVALIAÇÃO E MANUTENÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Profª. Drª. Aline da Silva Ramos Barboza.

Maceió

2025

Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S237a Santos Júnior, José Carlos dos.

Aplicação da metodologia BrIM para o registro e análise de informações na avaliação e manutenção de obras de arte especiais / José Carlos dos Santos Júnior. - 2025.

104 f. : il.

Orientadora: Aline da Silva Ramos Barboza.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2025.

Bibliografia: 84-91.

Apêndices: f. 92-104.

1. *Bridge Information Modeling*. 2. Obras de arte especiais. 3. Manifestação patológica (Edificação). 4. Modelagem de Informação da construção. I. Título.

CDU: 621.7.04

Folha de Aprovação

JOSÉ CARLOS DOS SANTOS JÚNIOR

Título do trabalho: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BrIM PARA O REGISTRO E ANÁLISE DE INFORMAÇÕES NA AVALIAÇÃO E MANUTENÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 09 de Junho de 2025.

gov.br Documento assinado digitalmente
ALINE DA SILVA RAMOS BARBOZA
Data: 09/06/2025 15:44:46-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

(Orientadora - Profª. Drª. Aline da Silva Ramos Barboza, Universidade Federal de Alagoas - UFAL)

Banca examinadora:

PAULO CHAGAS DO CARMO:10996665463
Assinado de forma digital por PAULO CHAGAS DO CARMO:10996665463

(Examinador Externo - Engenheiro Civil, Paulo Chagas do Carmo, MSc. em Engenharia Civil - Estruturas)

ROBERTO BARBOSA DOS SANTOS:02324746484
Assinado digitalmente por ROBERTO BARBOSA DOS SANTOS:02324746484
ND: C=BR, O=ICP-Brasil, OU=presencial, OU=00489828000317, OU=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, OU=ARMPDG, OU=RFB e-CPF A3, CN=ROBERTO BARBOSA DOS SANTOS:02324746484
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização:
Data: 2025.06.09 16:42:50-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 2025.1.0

(Examinador Interno - Prof. Dr. Roberto Barbosa dos Santos, Universidade Federal de Alagoas - UFAL)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder saúde, força e sabedoria ao longo desta caminhada, bem como pela oportunidade de chegar até aqui e pela presença constante de pessoas significativas que contribuíram para a realização deste trabalho.

À Professora Aline da Silva R. Barboza, minha orientadora, pela sugestão do tema, pela orientação dedicada e pela paciência e apoio em todos os momentos em que precisei de direcionamento. Sua contribuição foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Grupo de Extensão em BIM da Universidade Federal de Alagoas (GEBIM-UFAL), pelo suporte técnico, pelas oportunidades de crescimento pessoal e profissional e por todo o conhecimento compartilhado, que foram fundamentais durante minha formação acadêmica.

À minha família, pelo apoio incondicional em todas as etapas da minha vida, desde o ensino médio até o ensino superior. Agradeço especialmente pela confiança, pelos incentivos diários e pelo acolhimento nos momentos mais desafiadores.

Aos meus amigos e colegas de graduação, que estiveram ao meu lado durante essa jornada, dividindo aprendizados, superando obstáculos e celebrando conquistas. Sou grato pela parceria, amizade e motivação mútua ao longo desses anos.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse possível, deixo meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

As Obras de Arte Especiais (OAE) estão constantemente expostas a diversos agentes que causam sua deterioração. A falta de manutenção adequada pode resultar em problemas que comprometem a durabilidade e a funcionalidade dessas estruturas. O presente trabalho tem como objetivo aplicar a metodologia BrIM (Bridge Information Modeling) para o registro e análise de informações relacionadas à inspeção e avaliação de OAEs, com ênfase nas principais manifestações patológicas, utilizando um modelo digital. A metodologia envolve a criação de um modelo virtual paramétrico de uma passarela, que visa armazenar e caracterizar as manifestações patológicas existentes na estrutura. Para a criação desse modelo, foi utilizado o software BIM Revit. O modelo virtual desenvolvido garantiu que as informações fossem eficientemente armazenadas e gerenciadas. Essa abordagem permitiu uma análise mais detalhada e uma compreensão mais completa da extensão e gravidade dos problemas identificados na passarela. Ao integrar esses registros em um modelo digital, obteve-se uma representação visual e interativa das manifestações patológicas, facilitando a identificação e a priorização das ações de manutenção necessárias. Além disso, essa integração otimiza a gestão da infraestrutura, contribuindo significativamente para a preservação e manutenção das OAEs. A metodologia BrIM demonstrou-se eficaz na melhoria do processo de inspeção e na tomada de decisões informadas, proporcionando uma ferramenta valiosa para os profissionais envolvidos na manutenção e gestão dessas estruturas. Dessa forma, o trabalho destaca a relevância e a aplicabilidade do BrIM no contexto das OAEs, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável.

Palavras-chave: BrIM, OAE, Manifestações Patológicas, Informação.

ABSTRACT

Special Structures (OAE) are constantly exposed to various agents that contribute to their deterioration. The lack of proper maintenance can lead to issues that compromise the durability and functionality of these structures. This study aims to apply the BrIM (Bridge Information Modeling) methodology for recording and analyzing information related to the inspection and evaluation of OAEs, with an emphasis on the main pathological manifestations, using a digital model. The methodology involves creating a parametric virtual model of a pedestrian bridge, which aims to store and characterize the pathological manifestations present in the structure. For this model creation, the BIM software Revit was used. The developed virtual model ensured that the information was efficiently stored and managed. This approach allowed for a more detailed analysis and a comprehensive understanding of the extent and severity of the issues identified in the pedestrian bridge. By integrating these records into a digital model, a visual and interactive representation of the pathological manifestations was obtained, facilitating the identification and prioritization of the necessary maintenance actions. Furthermore, this integration optimizes infrastructure management, significantly contributing to the preservation and maintenance of the OAEs. The BrIM methodology proved to be effective in improving the inspection process and in making informed decisions, providing a valuable tool for professionals involved in the maintenance and management of these structures. Therefore, this work highlights the relevance and applicability of BrIM in the context of OAEs, promoting more efficient and sustainable management.

Keywords: BrIM, OAE, Pathological Manifestations, Information.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo do crescimento exponencial do custo de manutenção com o tempo……18
Figura 2 – Condição estrutural da Ponte Juscelino Kubitschek de Oliveira após o colapso ocorrido em dezembro de 2024…….20
Figura 3 – Condição estrutural da Ponte Santo Dumont após o ocorrido em dezembro de 2021……...21
Figura 4 – Modelo de ficha cadastral de Obras de Arte Especiais (OAEs) conforme normas da ABNT……....24
Figura 5 – Exposição da armadura em concreto armado……..29
Figura 6 – Ilustração dos tipos de fissuras……...32
Figura 7 – Pilha eletroquímica de corrosão no concreto armado…….33
Figura 8 – Tipos de corrosão…….33
Figura 9 – Exemplificação da degradação das armaduras devido à exposição…….....35
Figura 10 – Desplacamento do concreto……..…….……35
Figura 11 – Desgaste superficial……..….36
Figura 12 – Desgaste superficial por abrasão……...37
Figura 13 – Organograma das principais causas químicas de deterioração do concreto, com destaque para os processos de hidrólise e lixiviação……39
Figura 14 – Formação de camada esbranquiçada por lixiviação em estrutura exposta a agentes agressivos…….....39
Figura 15 – Efeito da deterioração e da manutenção no desempenho estrutural…….....41
Figura 16 – Composição do diagnóstico para manifestações patológicas……....42
Figura 17 – Integração entre os dados de inspeção visual e ensaios complementares na definição do diagnóstico da estrutura……....42
Figura 18 – Importância da inspeção visual mostrada em termos de informações obtidas e dos custos totais de inspeção……...43
Figura 19 –Etapas do processo de gerenciamento das OAEs no SGO…….……44
Figura 20 – Evolução do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) no DNIT……..…...45
Figura 21– Ficha de Serviços de Manutenção Gerada pelo Sistema SGO……...47
Figura 22 – Representação gráfica das anomalias identificadas em uma OAE……...….48
Figura 23 – Ciclo de vida de um empreendimento em BIM…….50
Figura 24 – Fluxo do processo de projeto CAD……...52

Figura 25 – Processo colaborativo simultâneo no BIM……53
Figura 26 – Marcos em BIM no Brasil……..…54
Figura 27 – IFC para infraestrutura……..57
Figura 28 – Análise de interferência entre projetos de sinalização e drenagem……...……59
Figura 29 – Vista lateral da passarela……....64
Figura 30 – Fluxo de trabalho da metodologia de pesquisa…….65
Figura 31 – Passarela estudada localizada na BR-104 em Maceió-AL……...…….66
Figura 32 – Procedimentos de criação do modelo 3D BrIM……....67
Figura 33 – Anomalias encontradas na rampa 1……...72
Figura 34 – Anomalias encontradas na rampa 2……...73
Figura 35 – Modelo digital 3D da passarela para análise e gestão de informações de inspeção…….74
Figura 36 – Exemplo de acesso a informações integradas no modelo BrIM……....75
Figura 37 – Representação geométrica das anomalias no modelo BrIM……..76
Figura 38 – Representação geométrica das anomalias no modelo BrIM……..76
Figura 39 – Tabela de gerenciamento de inspeção e manutenção integrada ao modelo BrIM……..77
Figura 40 – Relatório de inspeção e anomalias geradas a partir do modelo digital……..77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Porcentagem das empresas pesquisadas que usam BIM em 50% ou mais dos projetos de infraestrutura de transportes……57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade……....27
Tabela 2 – Classificação de fissura, trinca e rachadura……..31
Tabela 3 – Descrição do Nível de Maturidade BIM Bew-Richards……...56
Tabela 4 – Representação Geométricas 3D dos tipos de irregularidades……...70
Tabela 5 – Esquema de Classificação das Condições das OAEs com Códigos de Cores para Identificação de Anomalias……....71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIM	Building Information Modeling
BrIM	Bridge Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
IFC	Industry Foundation Classes
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
OAE	Obras de Arte Especiais
PROARTE	Programa de Manutenção e Reabilitação de Estruturas
SGO	Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais
UFAL	Universidade Federal de Alagoas

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	14
2	**OBJETIVO**	17
2.1	**Objetivo Geral**	17
2.2	**Objetivos específicos**.....	17
3	**JUSTIFICATIVAS**	18
3.1	Falhas Estruturais como Consequência da Negligência em Inspeções e Manutenções……..	19
4	**REFERENCIAL TEÓRICO**……	22
4.1	**Obras de Arte Especiais (OAE)** ……..…….……	22
4.2	**Inspeções em Passarelas de Concreto**	23
4.2.1	Inspeção cadastral	24
4.2.2	Inspeção rotineira…….	25
4.2.3	Inspeção especial…….....…….	25
4.2.4	Inspeção extraordinária.....…	26
4.3	**Critério de definições das notas de classificação das OAEs** ……	27
4.4	**Conceitos relacionados à Patologia de Estruturas** ……...	29
4.5	**Manifestações Patológicas** ……..	30
4.6	**Tipos de manifestações patológicas**……	31
4.6.1	Fissuras e Trincas……...	31
4.6.2	Corrosão das armaduras…….	32
4.6.3	Desplacamento do concreto……...	35
4.6.4	Desgaste Superficial do Concreto……..	36
4.6.5	Causas químicas……	38
4.7	**Diagnóstico**……...	40
4.8	**PROARTE**……	44
4.8.1	Evolução dos sistemas de gerenciamento de OAEs…….	45
4.9	**Manutenção nas OAEs**…..……..	46
4.10	**BIM e sua Aplicação em Infraestruturas**……..	48
4.10.1	Conceito e definição do BIM…….	48
4.10.2	Evolução do BIM……...	51
4.10.3	Níveis de maturidade do BIM……...	55

4.10.4	Benefícios da utilização do BIM em projetos de infraestrutura……	57
4.11	**Metodologia BrIM (Bridge Information Modeling)**.....	60
4.11.1	Definição e conceitos do BrIM……..	60
4.11.2	Vantagens da aplicação do BrIM na avaliação e manutenção de OAEs……	61
5	**METODOLOGIA**……	64
5.1	**Características da estrutura**……...	64
5.2	**Procedimentos e Etapas do Trabalho**…….	65
5.3	**Convertendo desenhos 2D em modelo BrIM 3D**……..	66
5.4	**Aquisição de dados de inspeção**……..	67
5.5	**Modelagem dos defeitos estruturais no modelo BrIM**……	68
5.6	**Geração de relatórios**……..	71
6	**RESULTADOS**……	72
6.1	Discussão dos Resultados……..	81
7	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**……..	82
7.1	Conclusões…….	82
7.2	Sugestões para Trabalhos Futuros……	82
	REFERÊNCIAS……...	84
	APÊNDICE A - RELATÓRIO TÉCNICO……	92

1 INTRODUÇÃO

Obras de arte especiais são estruturas que têm a finalidade de transpor obstáculos, tais como avenidas, vales, rios, entre outros. Essas obras são projetadas para garantir a conectividade e acessibilidade em uma determinada área, facilitando o deslocamento de pessoas e veículos.

O custo de ciclo de vida pode ser definido como uma combinação dos custos iniciais de construção, inspeção, manutenção, substituição e reabilitação, e custo de falha ao longo da vida útil (IPR-DNIT RP-004, 2024). Em cada uma dessas fases, a adoção de procedimentos adequados desempenha um papel crucial na garantia da segurança estrutural, funcionalidade e durabilidade de pontes, viadutos e passarelas. Por outro lado, muitas falhas nessas estruturas podem ocorrer devido a fatores internos, como erros de projeto, falhas na execução da obra e ausência de manutenção adequada, além de fatores externos, como ações hidráulicas, sobrecarga e colisões (Zhang et al., 2022). Esses elementos, isolados ou combinados, comprometem a integridade estrutural e reduzem a vida útil das infraestruturas, destacando a importância de inspeções regulares e intervenções preventivas.

Segundo Oliveira et al. (2019), o gerenciamento de infraestruturas tem como principal objetivo otimizar as intervenções de manutenção, restauração e reforço, considerando sempre as limitações do orçamento disponível. Isso significa que, mais do que apenas identificar problemas, é necessário definir prioridades de forma estratégica, alocando recursos de maneira eficiente para garantir a funcionalidade e a durabilidade das estruturas. Essa abordagem se mostra essencial diante da grande quantidade de ativos existentes e das restrições financeiras frequentemente enfrentadas pelos órgãos públicos responsáveis pela gestão das Obras de Arte Especiais (OAEs).

Um sistema estruturado de gerenciamento de OAE é fundamental para orientar as atividades de inspeção e manutenção, garantindo a integração entre os processos de inspeção, diagnóstico e intervenção (Silva & Melo, 2021). Esse método sistemático possibilita o acompanhamento contínuo das ações de manutenção e permite ajustes conforme as necessidades identificadas.

A manutenção em infraestruturas ocorre devido à responsabilidade civil, profissional e estatutária, além da necessidade de garantir boas condições de segurança aos usuários e a trafegabilidade das estruturas. No Brasil, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é o órgão responsável pela manutenção e gestão das OAEs federais. Sua principal função é implementar a política de infraestrutura do Sistema

Federal de Viação, abrangendo os modais rodoviário, ferroviário e aquaviário, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país.

A avaliação da vida útil e da funcionalidade de uma OAE começa pelo processo de inspeção. Esse procedimento envolve uma série de etapas destinadas a verificar a integridade, a conservação e o desempenho da estrutura. Durante a inspeção, são analisados aspectos como integridade física, sinais de desgaste, processos de deterioração e conformidade com as normas técnicas, possibilitando um diagnóstico preciso das condições da OAE.

A avaliação das condições da infraestrutura civil baseia-se nas informações obtidas por meio de processos de inspeção e/ou monitoramento. As técnicas tradicionais para essa avaliação geralmente envolvem inspeção visual realizada por profissionais treinados, aliada a critérios de tomada de decisão, como os estabelecidos pela NBR 9452, norma nacional para inspeção de OAEs (Billie F et al, 2019). No entanto, essas técnicas ainda carecem de uma abordagem integrada com modelos digitais, que poderiam melhorar a organização e a gestão das informações obtidas ao longo do processo.

O processo de inspeção e diagnóstico de uma OAE demanda tempo significativo e está sujeito a um alto índice de erros, o que pode resultar em informações inconsistentes ou incompletas devido à perda de dados ou desorganização (THABET; LUCAS; JOHNSTON, 2016). Essa falta de precisão compromete a qualidade das avaliações e a eficácia na tomada de decisões, impactando negativamente a manutenção e a preservação da infraestrutura. A adoção de modelos digitais para armazenamento e gerenciamento das informações poderia aumentar a eficiência desse processo, reduzindo inconsistências e melhorando a confiabilidade dos dados.

A metodologia BIM surge com uma abordagem inovadora diante desse processos, no qual é realizada a implementação de um modelo digital contendo todas as informações técnicas relacionadas a cada processo.

A implementação da metodologia BIM no setor de infraestrutura vem crescendo exponencialmente nas últimas décadas, principalmente na fase de projeto, construção e reabilitação. A utilização dessa nova tecnologia na fase de reabilitação em obras de grande porte é essencial para a assertividade e eficiência desse processo.

A incorporação de informações ao BIM é essencial para dar suporte à gestão de projetos, às obras de intervenção, à operação e à manutenção do patrimônio construído (VOUKLARI et al., 2021). Esse processo facilita o acesso a dados precisos e atualizados,

melhora a coordenação entre as partes envolvidas e contribui para a eficiência e a eficácia das atividades de gestão e preservação da infraestrutura.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é aplicar a metodologia BrIM para registrar e analisar dados pertinentes à inspeção de uma obra de arte especial, especificamente uma passarela localizada na BR-104, na cidade de Maceió-AL. A proposta busca identificar e documentar as principais manifestações patológicas por meio de um modelo digital. Essa abordagem tem como finalidade aprimorar o armazenamento e a organização dos dados, possibilitando uma gestão mais eficiente da manutenção de OAEs.

2.1 Objetivos específicos

- Evidenciar o uso do BrIM no processo de manutenção e reabilitação em OAEs;
- Contextualizar o Decreto nº 11.888 de 22 de Janeiro de 2024, da obrigatoriedade do uso de BIM para obras públicas federais.

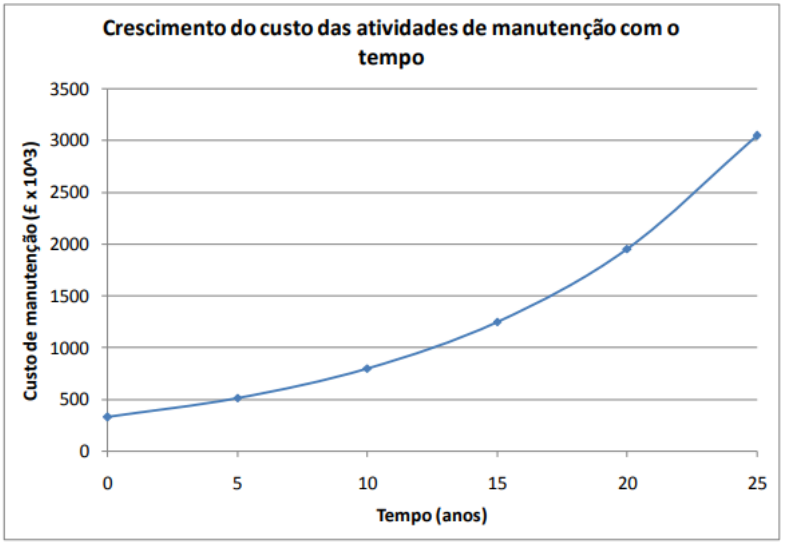
3 JUSTIFICATIVA

Segundo Oliveira & Lima (2022), a manutenção é uma etapa fundamental dentro da construção civil, pois está diretamente ligada à preservação da integridade e do bom funcionamento das estruturas ao longo do tempo. Quando bem planejada e executada, ela evita o agravamento de danos e reduz os custos com reparos emergenciais, contribuindo para a segurança e a durabilidade das obras.

Silva et al. (2022) ressaltam que a falta de manutenção está diretamente ligada ao agravamento da deterioração do sistema estrutural. Quando a estrutura não recebe os devidos cuidados ao longo do tempo, pequenos danos que poderiam ser corrigidos facilmente acabam evoluindo para problemas mais sérios e difíceis de resolver.

Esse cenário afeta diretamente a mobilidade e a qualidade de vida das comunidades que dependem dessas estruturas para seu deslocamento diário. A Figura 1 exemplifica o aumento dos custos de manutenção ao longo do tempo, demonstrando a necessidade crucial de inspeção e manutenção em OAEs.

Figura 1 – Exemplo do crescimento exponencial do custo de manutenção com o tempo



Fonte: Andrade & Costa e Silva, (2008)

A aplicação do BrIM nesse contexto tem como objetivo assegurar a continuidade do ciclo, evitando a perda de informações ao longo da vida útil da ponte, pois essa abordagem permite o armazenamento e a visualização das informações de maneira mais eficiente.

A falta de documentação adequada ou a gestão ineficiente dos arquivos do projeto compromete a realização de manutenções eficazes em pontes e viadutos. A ausência de

registros das edificações de uso público representa um dos principais desafios para a implementação de programas de inspeção regular (MENTONE, 2019). Dessa forma, a existência de uma base de dados confiável do projeto é essencial para identificar quando e onde a manutenção deve ser realizada.

O DNIT desde 2018 deu início a implementação dessa metodologia por meio do Núcleo BIM que concentra principalmente na aplicação da Estratégia Nacional BIM BR em projetos de reforço e reabilitação de Obras de Arte Especiais (OAEs) no âmbito do Programa de Manutenção e Reabilitação de Estruturas - PROARTE. O objetivo principal é garantir que as obras de manutenção e recuperação de OAEs, como pontes, túneis, viadutos, passarelas e estruturas de contenção, localizadas nas estradas federais sob a gestão do DNIT, sejam realizadas com base nos princípios e diretrizes do BIM. (DNIT, 2021).

Este estudo justifica-se por apresentar uma perspectiva ampla sobre a aplicação da metodologia BrIM no contexto brasileiro, destacando sua relevância para a inspeção e manutenção de Obras de Arte Especiais (OAEs). A adoção dessa metodologia permite um gerenciamento mais eficiente das informações, minimizando inconsistências, otimizando a tomada de decisão e contribuindo para a preservação e segurança das infraestruturas.

Além disso, o estudo visa preencher lacunas existentes na literatura e práticas nacionais, contribuindo para a evolução do conhecimento e das técnicas de gestão e manutenção de infraestruturas. A aplicação do BrIM possibilita uma melhor integração de dados e informações, facilitando a visualização e análise de condições estruturais e a tomada de decisões mais informadas.

Em resumo, a pesquisa não apenas valida a eficácia do BrIM em um contexto prático, mas também oferece insights valiosos para a melhoria contínua das práticas de manutenção e gestão de OAEs no Brasil.

3.1 Falhas Estruturais como Consequência da Negligência em Inspeções e Manutenções

Segundo Mota et al. (2022), a negligência na realização de inspeções periódicas e manutenções adequadas em estruturas civis tem sido uma das principais causas de falhas estruturais ao longo dos anos. A ausência de um plano de conservação eficiente, aliada à falta de monitoramento contínuo, permite a evolução de manifestações patológicas até estágios críticos, comprometendo a integridade e a segurança da infraestrutura.

Um exemplo real e recente que evidencia as consequências da ausência de inspeções e manutenções adequadas é o colapso da Ponte Juscelino Kubitschek de Oliveira,

ocorrido em 22 de dezembro de 2024. A estrutura, inaugurada em 1961, possuía 533 metros de extensão e um vão livre de 140 metros — um marco para a engenharia brasileira na época. Ao longo dos anos, sinais de deterioração foram identificados, incluindo rachaduras e inclinações nos pilares. No entanto, a negligência na adoção de medidas corretivas resultou no colapso da ponte, causando a morte de 14 pessoas e deixando outras três desaparecidas (WIKIPÉDIA, 2025). A Figura 2 ilustra a condição estrutural da ponte após o colapso.

Figura 2 – Condição estrutural da Ponte Juscelino Kubitschek de Oliveira após o colapso ocorrido em dezembro de 2024.



Fonte: Wikipédia, (2025)

Um outro colapso marcante ocorreu na Ponte Santos Dumont, em Brusque (SC), quando, em 21 de abril de 2021, a cabeceira da ponte cedeu de forma abrupta, atingindo três veículos sem causar vítimas fatais. As investigações preliminares apontaram que o desabamento foi possivelmente provocado por obras de escavação próximas, realizadas para a implantação de uma galeria de drenagem, que causaram o rebaixamento e a desestabilização do solo de apoio (G1 2021).

Esse episódio demonstra claramente como intervenções inadequadas no entorno de obras de arte especiais podem comprometer a estabilidade estrutural, ressaltando a importância de um planejamento técnico rigoroso, inspeções periódicas e a integração dos setores de infraestrutura e manutenção urbana para evitar falhas graves. A figura 3 ilustra a situação da ponte após o ocorrido.

Figura 3 – Condição estrutural da Ponte Santo Dumont após o ocorrido em dezembro de 2021.



Fonte: G1, (2021)

A precariedade na conservação de obras de infraestrutura viária no Brasil é alarmante. De acordo com dados do Ministério Público, até maio de 2023, cerca de 727 pontes sob responsabilidade do DNIT estavam em condições críticas, o que representa aproximadamente 12,5% das 5,8 mil pontes federais monitoradas — sem contar viadutos e passarelas (WIKIPÉDIA, 2025). Dentre essas estruturas, 130 foram classificadas como extremamente deterioradas e outras 597 apresentavam condições ruins (WIKIPÉDIA, 2025). Esses números reforçam o impacto direto da ausência de monitoramento e manutenção sistemática na segurança estrutural.

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de adotar soluções mais eficientes que ampliem a capacidade de diagnóstico e gestão dessas estruturas. É nesse contexto que o BrIM (Bridge Information Modeling) se destaca como uma abordagem inovadora e promissora. Ao integrar dados relevantes ao longo de todo o ciclo de vida das pontes, essa metodologia contribui para um processo de inspeção mais preciso, tomada de decisões mais assertiva e uma manutenção orientada pela realidade da estrutura, promovendo, assim, maior segurança e eficiência na gestão das pontes brasileiras.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Obras de Arte Especiais (OAE)

Uma Obra de Arte Especial (OAE) é uma estrutura de engenharia civil como ponte, viaduto ou passarela, que desempenham um papel crucial na infraestrutura de transporte (ABNT, 2021). Essas construções são projetadas para superar obstáculos naturais ou artificiais, como rios, vales, rodovias ou ferrovias, garantindo a continuidade e a segurança do tráfego.

As pontes comumente são utilizadas para a travessia de cursos d'água, enquanto os viadutos facilitam a passagem sobre depressões ou outras vias de transporte. As passarelas, por sua vez, são projetadas principalmente para pedestres, proporcionando uma travessia segura sobre avenidas movimentadas ou terrenos difíceis. Cada tipo de OAE é projetado com materiais e técnicas específicas, levando em conta fatores como carga, durabilidade e impacto ambiental, para garantir sua eficiência e longevidade.

A passarela possui semelhanças com a ponte e o viaduto, tanto em sua terminologia como Obra de Arte Especial (OAE) quanto em seu conceito estrutural. No entanto, um aspecto fundamental que a diferencia dessas estruturas está relacionado às cargas atuantes e ao gabarito. Enquanto pontes e viadutos são projetados para suportar cargas veiculares significativas, as passarelas são dimensionadas principalmente para a circulação de pedestres e, em alguns casos, ciclistas. Ela possibilita a travessia de pedestres e/ou ciclistas apesar de existir um impedimento natural (córregos, lagos) ou artificial (ruas, estradas, rodovias, ferrovias).

A excitação gerada por atividades para as quais a passarela não foi projetada, como o impacto direto de veículos em sua estrutura, pode resultar em vibrações indesejadas. Essas vibrações aumentam as ações dinâmicas sobre a estrutura, acelerando o processo de degradação e causando desconforto aos usuários, tanto no sentido vertical quanto lateral. (ABNT, 2021).

Como qualquer estrutura, os materiais que a compõem passam por processos de deterioração ao longo do tempo. Essas alterações podem modificar suas propriedades e seu comportamento, resultando na perda de desempenho estrutural em relação aos estados-limite últimos e de serviço (GOMES et al., 2018).

As patologias observadas em passarelas podem ser de natureza variada, incluindo fissuras, corrosão, desgaste dos materiais e falhas nas juntas. Quando essas patologias não são tratadas adequadamente, comprometem a funcionalidade e a segurança da estrutura.

Segundo Silva et al. (2022), um plano de manutenção bem definido e aplicá-lo de forma contínua é essencial para garantir o bom desempenho das estruturas e evitar prejuízos maiores no futuro. A ausência de políticas e estratégias específicas para a conservação dessas estruturas contribui significativamente para essa situação. Além disso, as OAEs estão sendo submetidas a cargas excessivas, o que acelera o desgaste e os danos, comprometendo sua integridade estrutural e reduzindo sua vida útil.

A realização de manutenções adequadas e periódicas, como parte de um processo de gestão mais amplo, proporciona maior longevidade e vida útil às obras, além de garantir um desempenho estrutural e funcional satisfatório. Ainda segundo Silva et al. (2022), as inspeções são fundamentais para a identificação e análise das anomalias presentes na estrutura. É por meio delas que se torna possível diagnosticar com precisão os problemas existentes e, a partir disso, indicar as ações de recuperação mais adequadas. Esse enfoque proativo na manutenção permite intervenções oportunas, prevenindo problemas maiores e assegurando a integridade e segurança das estruturas.

4.2 Inspeções em Passarelas de Concreto

> No Brasil, pontes, viadutos e passarelas são classificados como Obras de Arte Especiais (OAEs), um termo equivalente ao francês 'Ouvrage d'art'. Quanto aos procedimentos de inspeção dessas estruturas de concreto, o Brasil segue a Norma Brasileira (NBR) 9452:2019. Esta norma estabelece os requisitos para as inspeções de OAEs em concreto, detalhando os tipos de inspeção e as premissas para a elaboração de relatórios.
>
> Além disso, a norma define a classificação das OAEs com base em uma pontuação específica, relacionada a parâmetros de durabilidade, funcionalidade e aspectos estruturais. Com base nesse procedimento, é possível classificar uma estrutura em quatro níveis, conforme os parâmetros mencionados.
>
> Existem quatro tipos de inspeções relacionadas às Obras de Arte Especiais (OAEs), as quais verificam uma série de aspectos para garantir a segurança, a funcionalidade e a durabilidade da estrutura. São elas:
>
> 1. cadastral;
> 2. rotineira;

3. especial;
4. extraordinária.

4.2.1 Inspeção cadastral

A inspeção cadastral é a primeira verificação realizada na obra e deve ser efetuada imediatamente após a sua conclusão, instalação ou integração a um sistema de monitoramento e acompanhamento viário (ABNT NBR 9452:2019). Além disso, deve ser conduzida sempre que houver alterações na configuração da obra, como alargamento, acréscimo de comprimento, reforço ou mudanças no sistema estrutural.

De acordo com a NBR 9452 (ABNT, 2019):
a) as informações do roteiro básico do Anexo A da Norma NBR 9452:2019;

b) registro fotográfico;

c) desenhos esquemáticos da planta do tabuleiro, e das seções típicas transversal e longitudinal, com suas respectivas medidas principais;

d) a classificação da OAE, conforme Seção 5 da Norma NBR 9452:2019;

e) demais informações consideradas importantes para a inspeção.

O registro fotográfico de caracterização da estrutura deve incluir, no mínimo, uma vista geral, além das vistas superior, lateral e inferior do tabuleiro, dos elementos da mesoestrutura e da infraestrutura, quando visíveis, bem como detalhes considerados necessários. As fotografias devem permitir a visualização clara da situação, do aspecto geral e do esquema estrutural. Deve-se também registrar as anomalias detectadas que possam comprometer as condições estruturais, funcionais e a durabilidade da obra. As fotos devem ser datadas e o registro fotográfico deve ser apresentado juntamente com os dados coletados, conforme o roteiro do Anexo A da Norma NBR 9452:2019. A Figura 4, ilustra um corte da ficha cadastral, conforme extraído das normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Figura 4 – Modelo de ficha cadastral de Obras de Arte Especiais (OAEs) conforme normas da ABNT.

Ficha de inspeção cadastral	
Inspeção Cadastral(ano):	OAE Código:
Jurisdição (Orgão, Concessão ou outro):	Data da inspeção:
Parte I - Cadastro	
A - Identificação e localização	
Via ou município:	Sentido:
Obra:	Localização (km ou endereço):
Ano da construção:	Projetista:
Trem-tipo:	Construtor:
B - Características da estrutura	
Comprimento e largura	
Comprimento total (m):	Largura total (m):
	Largura útil (m):

Fonte: ABNT NBR 9452:2019

4.2.2 Inspeção rotineira

A inspeção de acompanhamento periódico é uma verificação visual, realizada com ou sem o uso de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, e deve ocorrer em intervalos não superiores a um ano (ABNT NBR 9452:2019). Durante essa inspeção rotineira, é essencial verificar a evolução das anomalias observadas em inspeções anteriores, além de identificar novas ocorrências e avaliar os reparos e/ou recuperações realizados no período.

A inspeção rotineira deve conter:

a) introdução contendo informações básicas, como rodovia e trecho inspecionado no caso de um lote de OAEs;

b) a classificação da OAE, conforme Seção 5 da Norma NBR 9452:2019;

c) comentários quanto a eventuais alterações do estado geral da OAE detectadas em relação à inspeção anterior;

d) ficha de inspeção rotineira contendo registro de anomalias de acordo com o Anexo B da Norma NBR 9452:2019;

e) registro fotográfico, conforme 4.1 da Norma NBR 9452:2019;

f) demais informações consideradas importantes para a inspeção.

4.2.3 Inspeção especial

A inspeção especial deve ser realizada a cada cinco anos, podendo ser postergada para até oito anos, desde que as seguintes condições sejam atendidas simultaneamente:

a) a obra possui classificação de intervenção de longo prazo (notas de classificação 4 e 5, conforme Tabela 1 da Norma NBR 9452:2019);

b) a obra permite total acesso a seus elementos constituintes durante a inspeção rotineira.

A inspeção especial deve ser detalhada e incluir o mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos visíveis e/ou acessíveis da OAE, com o objetivo de formular um diagnóstico e prognóstico da estrutura. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acessar todos os componentes da estrutura, lateralmente, sob a obra e, se for o caso, internamente, no caso de estruturas celulares.
Para elementos submersos, a inspeção subaquática deve ser realizada conforme o Anexo F da Norma NBR 9452:2019.
A inspeção especial deve ser antecipada nas seguintes situações: a) a inspeção anterior indicou uma classificação de intervenção em curto prazo (notas de classificação 1 e 2, conforme Tabela 1 da Norma NBR 9452:2019) nos parâmetros de desempenho estrutural e de durabilidade;

b) estão previstas adequações de grande porte, como alargamentos, prolongamentos, reforços e elevação de classe portante.

4.2.4 Inspeção extraordinária

A inspeção extraordinária é gerada por uma das seguintes demandas não programadas, associadas ou não:

a) necessidade de avaliar com mais critério um elemento ou parte da OAE, podendo ou não ser decorrente de uma inspeção anterior;

b) ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra;

c) ocorrência de eventos naturais, como inundação, vendaval, sismo, entre outros.

A inspeção extraordinária deve ser documentada em um relatório específico, contendo a descrição da obra e a identificação das anomalias, incluindo mapeamento, documentação fotográfica e a terapia recomendada. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acessar o elemento ou parte da estrutura.
Todos esses métodos de inspeção utilizam parâmetros que são classificados de acordo com os critérios estabelecidos pela Norma. Esses parâmetros incluem aspectos estruturais, funcionais e de durabilidade.

> O processo de inspeção, conforme apresentado, é composto por métodos e procedimentos específicos para cada tipo de inspeção, considerando todas as anomalias encontradas na construção. Essas anomalias são avaliadas de acordo com os procedimentos estabelecidos, permitindo a caracterização das intervenções necessárias conforme sua classificação.

À medida que o número e a idade dessas infraestruturas aumentam, cresce também a necessidade de monitorar a integridade, o gerenciamento e a manutenção dessas estruturas vitais. Segundo Pontes & Malard (2023), com o avanço das novas tecnologias, a forma como as infraestruturas são inspecionadas, gerenciadas e mantidas está se tornando cada vez mais eficiente..

4.3 Critério de definições das notas de classificação das OAEs

A NBR 9452:2019 estabelece diretrizes para a classificação das Obras de Arte Especiais (OAEs), um processo fundamental para a avaliação de sua condição estrutural, funcional e de durabilidade. Essa classificação atribui uma nota que pode variar de 1 a 5, refletindo a gravidade dos problemas identificados durante a inspeção. Com base nessas notas, a condição da OAE pode ser categorizada como excelente, boa, regular, ruim ou crítica, permitindo uma análise mais precisa do seu estado de conservação. A avaliação deve seguir critérios normativos conforme estabelecido na NBR 9452:2019.

A Tabela 1 dessa norma correlaciona as notas atribuídas à condição da estrutura, caracterizando os problemas identificados em cada um dos parâmetros analisados, como aspectos estruturais, funcionais e de durabilidade.

Tabela 1 – Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.

4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

0	Emergencial	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais principais colapsados. A OAE necessita de intervenção emergencial com a convocação da projetista da OAE e/ou de consultoria especializada em estruturas de OAE para reavaliação da classificação inicialmente atribuída. É necessária a interdição total.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização. A OAE deve ser interditada.	A OAE se encontra em elevado grau de deterioração, gerando graves ineficiências estruturais e/ou funcional, requerendo intervenção emergencial e interdições total.

Fonte: NBR 9452:2019.

4.4 Conceitos relacionados à Patologia de Estruturas

Segundo Salomão et al. (2019), o concreto é amplamente utilizado na construção civil e desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da engenharia, principalmente por sua versatilidade, durabilidade e facilidade de moldagem. Quando associado ao aço, dá origem ao concreto armado, uma combinação que reúne as principais vantagens mecânicas de ambos os materiais.

Esse processo é essencial para evitar que falhas aparentemente pequenas evoluam para danos mais graves, comprometendo o desempenho e a segurança da estrutura (SALOMÃO et al., 2019). Por isso, as inspeções devem ser encaradas como parte essencial da gestão e manutenção das obras de arte especiais.

Conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 6118:2014, essa combinação proporciona um sistema estrutural de alta eficiência, capaz de atender a requisitos de segurança, durabilidade e funcionalidade. A integração entre os dois materiais pode ser observada, por exemplo, na exposição das armaduras em elementos estruturais, evidenciando o papel essencial de cada componente no comportamento global da estrutura.

Figura 5 – Exposição da armadura em concreto armado



Fonte: Wikipédia (2025)

Historicamente, o concreto armado foi amplamente considerado um material de baixa exigência em termos de manutenção, devido à sua reconhecida durabilidade e bom desempenho em condições usuais de uso. No entanto, de acordo com Morais et al. (2020), embora o concreto seja um dos materiais mais utilizados na construção civil por sua resistência e versatilidade, a ausência de uma manutenção adequada e de inspeções periódicas pode desencadear fatores que afetam negativamente sua durabilidade.

As inspeções técnicas possibilitam uma análise precisa das condições das estruturas e, a partir delas, a proposição de soluções adequadas para as anomalias identificadas. Esse processo visa garantir a longevidade, a usabilidade e a segurança das obras ao longo do tempo (Morais et al., 2020).

As patologias em estruturas de concreto podem estar relacionadas a diversas causas e fatores, como movimentação do solo, erros de projeto, uso inadequado de materiais, falhas na execução ou, simplesmente, o envelhecimento natural da estrutura. Por isso, a manutenção é de extrema importância para o ciclo de vida das edificações (Lima et al., 2023). O concreto, apesar de ser um material resistente, exige atenção, pois, dependendo do ambiente e das condições a que está exposto, pode se tornar suscetível ao surgimento de anomalias.

4.5 Manifestações Patológicas

As manifestações patológicas têm se tornado cada vez mais frequentes na construção civil, gerando diversos problemas tanto em obras já concluídas quanto naquelas em fase de execução (Mancini & Pedreiro, 2023). Em situações mais críticas, essas patologias podem até mesmo levar ao colapso das estruturas.

A patologia na construção civil pode ser definida como uma “doença” que afeta as edificações, representando uma área da engenharia dedicada ao estudo das causas, manifestações, consequências e motivos por trás de falhas, degradações e problemas estruturais (Mancini & Pedreiro, 2023).

Essa área do conhecimento é de extrema importância, pois está diretamente relacionada à qualidade de vida das pessoas. As construções estão presentes em todos os aspectos da sociedade, desde moradias habitacionais até grandes edificações, centros comerciais e infraestruturas urbanas. Portanto, compreender e desenvolver estudos sobre patologias na construção civil é fundamental para garantir a segurança, durabilidade e funcionalidade dessas estruturas.

4.6 Tipos de manifestações patológicas

4.6.1 Fissuras e Trincas

De acordo com Quirino et al. (2022), fissuras, trincas e rachaduras são manifestações patológicas que se originam, em grande parte, da liberação de tensões internas no material, resultando em deformações que podem ser tanto positivas quanto negativas. Essas manifestações indicam alterações no comportamento estrutural do concreto e, dependendo da sua extensão e localização, podem comprometer a durabilidade, a estética e, em casos mais críticos, a segurança da estrutura. A distinção entre esses danos estruturais está relacionada à largura da abertura, conforme descrito por Oliveira (2012) e apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação de fissura, trinca e rachadura

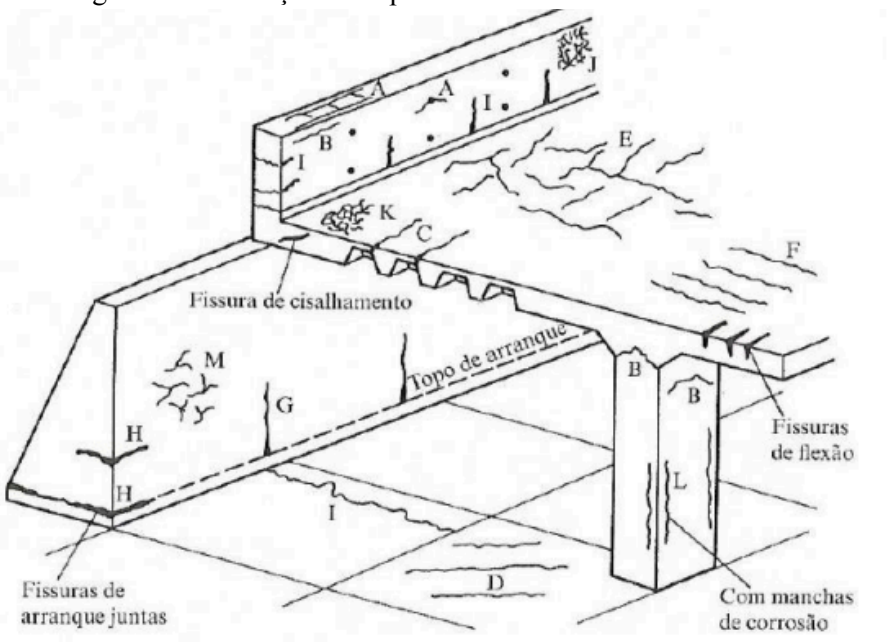
Manifestação Patológica	**Abertura**
Fissuração	$\leq 0{,}5$ (mm)
Trinca	$0{,}5 \leq e \leq 1{,}5$ (mm)
Rachadura	$1{,}5 \leq e \leq 5{,}0$ (mm)

Fonte: Adaptado de Oliveira (2012)

A fissuração é um fenômeno que ocorre quando a tensão resistente de parte ou de toda a estrutura é superada por esforços internos ou externos. Quando a tensão está sendo superada, a fissura é considerada ativa; quando a tensão já foi superada, a fissura é classificada como passiva. Essas fissuras podem se manifestar após anos, semanas ou até mesmo horas, dependendo das condições da estrutura e das cargas aplicadas.

Segundo Novais & Poznyakov (2021), as fissuras são aberturas que surgem nas estruturas de concreto armado e podem variar em gravidade de acordo com o seu grau de abertura e profundidade. A configuração da fissura pode indicar as causas da deterioração estrutural, que podem ser internas, como a ação expansiva da armadura corroída, retração ou expansão do concreto, ou externas, como esforços solicitantes excessivos ou não dimensionados durante a fase de projeto. Na Figura 6, é apresentada uma ilustração dos tipos de fissuras que podem ocorrer em estruturas de concreto.

Figura 6 – Ilustração dos tipos de fissuras



Fonte: (NEVILLE p.250 apud CONCRETE SOCIETY N.22, 1982, p. 38)

4.6.2 Corrosão das armaduras

As pontes são estruturas em contato direto com o meio ambiente, ficando expostas a diversos fatores que podem contribuir para o surgimento de manifestações patológicas, como a corrosão (VASCONCELO, 2018). Elementos estruturais sujeitos a efeitos de corrosão são comuns em obras de concreto armado, como pontes, e devem ser cuidadosamente

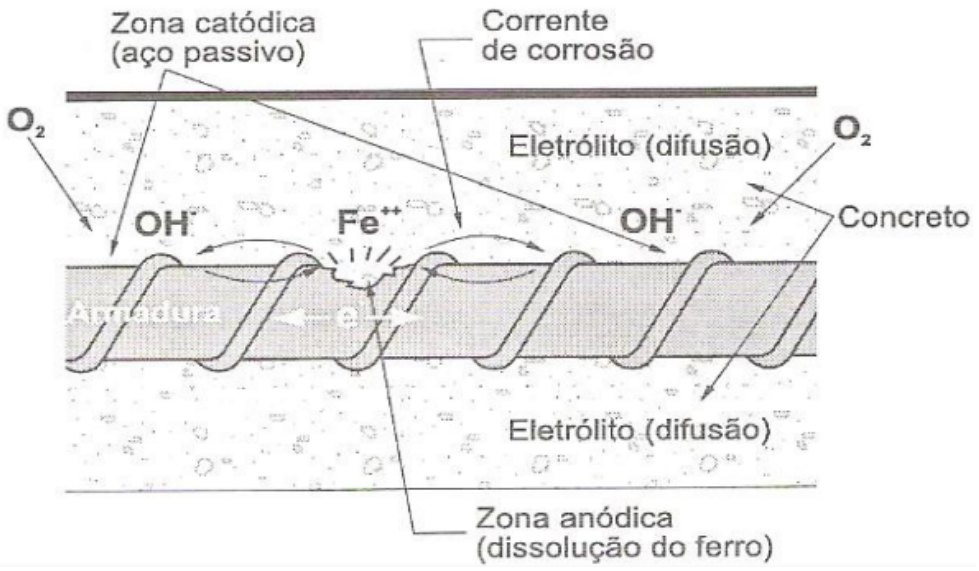
considerados, especialmente em concretos que têm contato direto com água ou umidade. Essas condições ambientais podem contribuir significativamente para o surgimento de anomalias, como a corrosão das armaduras.

Com o início e a progressão da corrosão das armaduras, ocorre uma expansão volumétrica dos produtos corrosivos, que exercem pressão interna sobre o concreto ao redor. Esse processo pode levar ao surgimento de fissuras longitudinais e, em casos mais severos, à fragmentação do recobrimento do concreto. Como consequência, a exposição das armaduras aos agentes agressivos se intensifica, acelerando ainda mais o processo corrosivo, o que pode comprometer a durabilidade da estrutura e reduzir sua vida útil.

A corrosão das armaduras é apontada como uma das principais causas de deterioração das estruturas de concreto armado, afetando diretamente sua durabilidade e segurança. Segundo Cândido et al. (2020), esse processo é desencadeado principalmente pela ação de agentes agressivos como o gás carbônico e os íons cloreto, que penetram no concreto e atingem as armaduras, promovendo reações eletroquímicas que comprometem a integridade do aço.

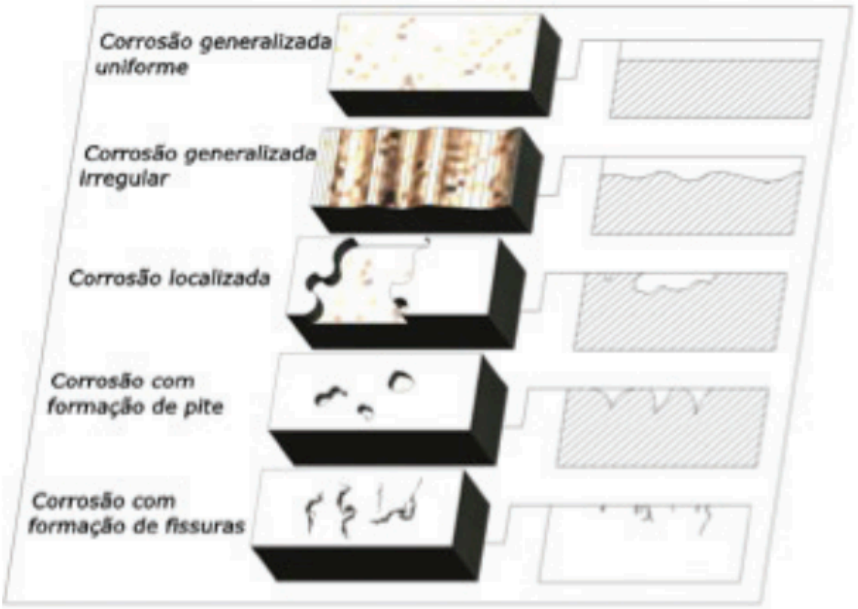
Na Figura 7, é apresentado um exemplo do processo de corrosão nas armaduras de concreto armado. Já na Figura 8, são ilustrados os diferentes tipos de corrosão que podem ocorrer nas armaduras.

Figura 7 – Pilha eletroquímica de corrosão no concreto armado



Fonte: (HELENE 1986).

Figura 8 – Tipos de corrosão

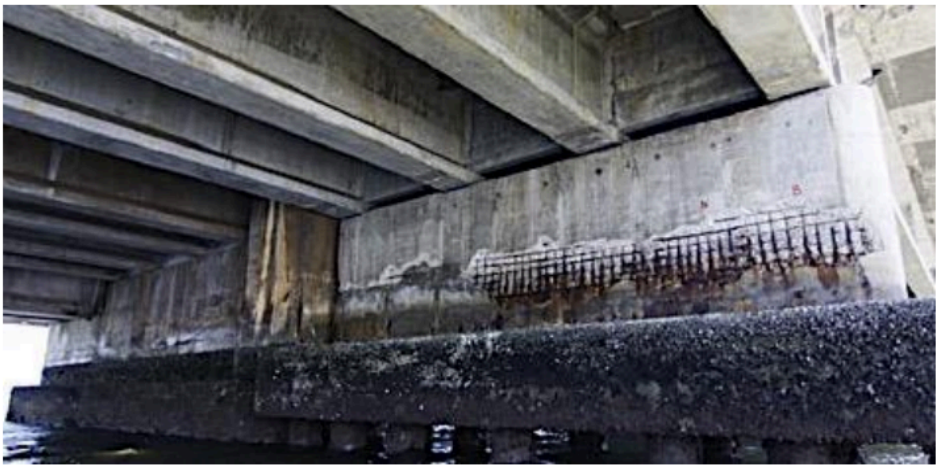


Fonte: (FELIU, 1984)

Segundo Meira e Ferreira (2019), um dos principais fatores para o desencadeamento do processo de corrosão em armaduras é a combinação entre as características dos materiais utilizados e as condições do ambiente, que favorecem o transporte de agentes agressivos, diretamente responsáveis pelo surgimento e aceleração desse processo.

De acordo com Verly (2022), a exposição das armaduras exerce grande influência sobre o desempenho e a durabilidade das estruturas de concreto. Na Figura 9, o autor apresenta uma comparação entre duas estruturas construídas em períodos distintos, evidenciando o grau de degradação das armaduras e as condições às quais foram expostas. Essa análise permite concluir que a exposição direta das armaduras desempenha um papel determinante no avanço da deterioração da estrutura, comprometendo sua vida útil e funcionalidade.

Figura 9 – Exemplificação da degradação das armaduras devido à exposição.



Fonte: Verly (2015)

4.6.3 Desplacamento do concreto

O desplacamento do concreto, também conhecido como *spalling*, é uma manifestação patológica caracterizada pelo destacamento parcial ou total das camadas superficiais do material. Segundo Tutikian et al. (2021), o desplacamento do concreto é uma manifestação patológica que pode estar associada a diversas causas, sendo a corrosão das armaduras uma das mais comuns. Durante esse processo, a corrosão gera produtos que aumentam o volume do aço, provocando tensões internas que ultrapassam a resistência à tração do concreto.

Quando presente, o desplacamento compromete a integridade da estrutura ao expor as armaduras, reduzindo a seção resistente do elemento e acelerando processos de deterioração como a corrosão. Além disso, o desprendimento de partes do concreto representa um risco à segurança dos usuários e compromete a durabilidade da estrutura.

Tutikian et al. (2021) afirmam que o desplacamento, caracterizado pelo destacamento de partes da camada superficial do concreto, compromete diretamente a durabilidade e a integridade da estrutura. A Figura 10 ilustra o desplacamento do concreto em uma determinada região do elemento estrutural.

Figura 10 – Desplacamento do concreto



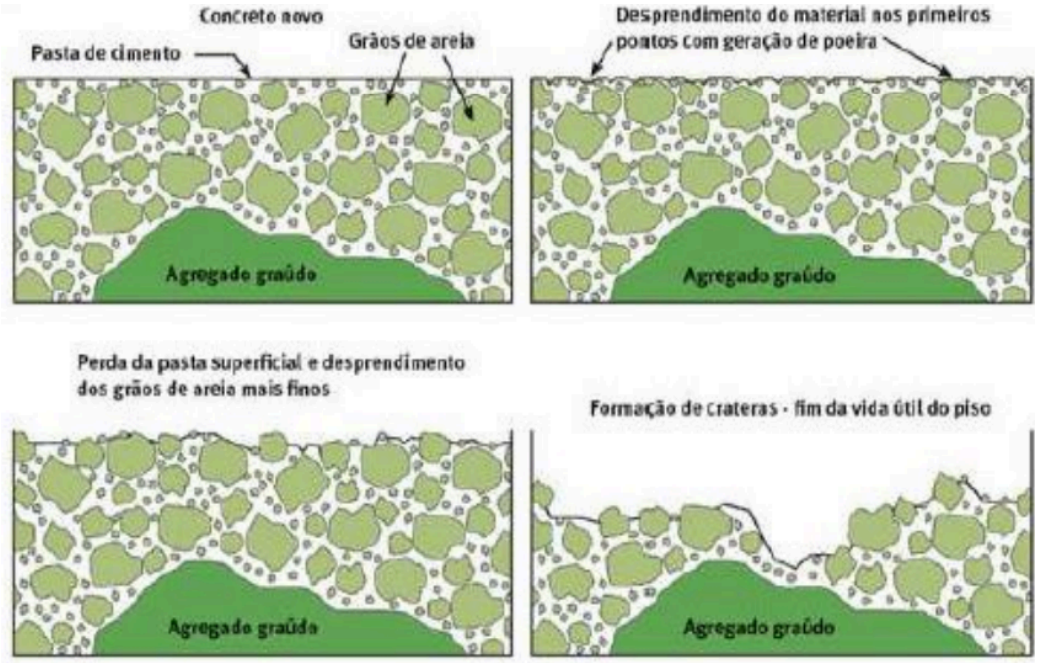
Fonte: Tutikian et al. (2021)

4.6.4 Desgaste Superficial do Concreto

O desgaste superficial do concreto é uma manifestação patológica que se caracteriza pela remoção progressiva de partículas da camada externa do material. Esse processo, também conhecido como abrasão, ocorre principalmente em ambientes onde há tráfego intenso de veículos ou movimentação constante de cargas, como pavimentos industriais e vias urbanas.

Segundo Witzke et al. (2019), a abrasão em concreto se desenvolve em condições predominantemente secas e resulta da ação mecânica provocada por fricção, deslizamento, derrapagem ou raspagem de objetos sobre a superfície. Com o tempo, esse atrito constante promove a perda de material, comprometendo a integridade da camada superficial e, consequentemente, a durabilidade da estrutura. Na Figura 11, observa-se um exemplo visual desse tipo de degradação, evidenciando os sinais de abrasão em uma superfície de concreto exposta a solicitações mecânicas constantes.

Figura 11 – Desgaste superficial



Fonte: Camargo (2010)

As estruturas que geralmente estão sujeitas ao desgaste por abrasão incluem pisos industriais, pavimentos rodoviários, estacionamentos, pontes, calçadas e outras superfícies de concreto expostas a tráfego constante, conforme mostrado na Figura 12. O sintoma característico desse processo é a perda progressiva da camada superficial do concreto, que ocorre devido ao atrito constante de veículos, pedestres ou equipamentos.

Este desgaste superficial pode ser visualizado como um afinamento gradual da superfície, resultando em fissuras, rugosidades e, em casos mais avançados, a exposição das armaduras do concreto (Paixão et al. 2017). A abrasão é um fenômeno especialmente crítico em áreas de alto tráfego, pois compromete não só a estética da estrutura, mas também sua durabilidade e segurança, tornando-as mais vulneráveis a outros tipos de degradação.

Figura 12 – Desgaste superficial por abrasão



Fonte: Aguiar, J. E. (2006)

4.6.5 Causas químicas

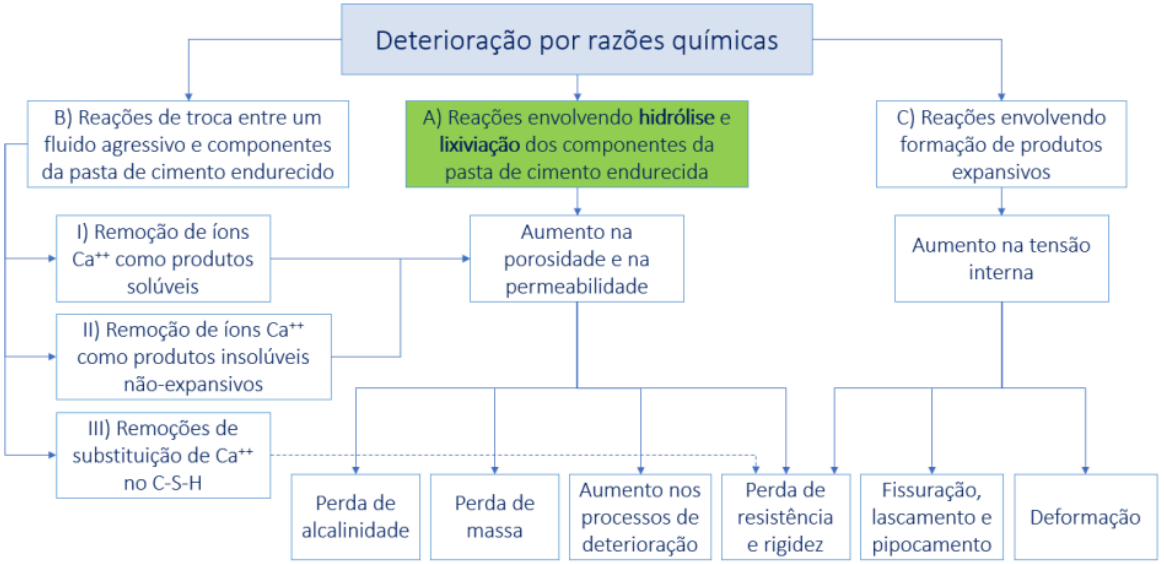
As causas químicas são grandes responsáveis pela diminuição da durabilidade das estruturas de concreto. Essas reações químicas resultam das interações químicas entre agentes agressivos presentes no meio ambiente externo e os constituintes da pasta de cimento ou podem resultar de outras reações dentro da própria estrutura do concreto.

É importante destacar que, na prática, a separação entre causas físicas e químicas da deterioração do concreto não é tão simples, pois esses fatores costumam atuar de forma conjunta. Um fenômeno físico pode facilitar a ocorrência de reações químicas, acelerando o processo de degradação da estrutura. Um exemplo disso é a formação de fissuras excessivamente abertas, que permitem a infiltração de agentes agressivos, como sulfatos, ou contribuem para o início da corrosão das armaduras, comprometendo a durabilidade do concreto.

A Figura 13 apresenta, por meio de um organograma, as principais causas químicas que contribuem para a deterioração do concreto. Em evidência, estão os processos de hidrólise e lixiviação, reações químicas que ocorrem na pasta de cimento quando esta entra em contato com a água. A hidrólise promove a decomposição de compostos presentes no cimento, enquanto a lixiviação remove esses componentes dissolvidos, transportando-os para

fora da estrutura. Esses fenômenos reduzem a resistência e a durabilidade do concreto, tornando-o mais poroso e vulnerável a agentes agressivos.

Figura 13 – Organograma das principais causas químicas de deterioração do concreto, com destaque para os processos de hidrólise e lixiviação.



Fonte: VERLY (2022)

Segundo Verly (2022), diversos compostos presentes nas águas pluviais podem estar diretamente relacionados ao surgimento de manifestações patológicas em estruturas de concreto. Como essas obras são construídas em ambientes externos, sua exposição a esses agentes agressivos ocorre de forma constante, sendo praticamente impossível controlá-los.

Essa exposição contínua pode favorecer o aparecimento de processos como a hidrólise, bem como a lixiviação — fenômeno em que componentes solúveis da pasta de cimento são carreados para fora da estrutura. O produto dessa lixiviação interage com o dióxido de carbono presente na atmosfera, formando uma camada esbranquiçada sobre a superfície do concreto. A Figura 14 ilustra um exemplo desse tipo de manifestação patológica causada pela exposição prolongada a agentes agressivos.

Figura 14 – Formação de camada esbranquiçada por lixiviação em estrutura exposta a agentes agressivos.



Fonte: VERLY (2022)

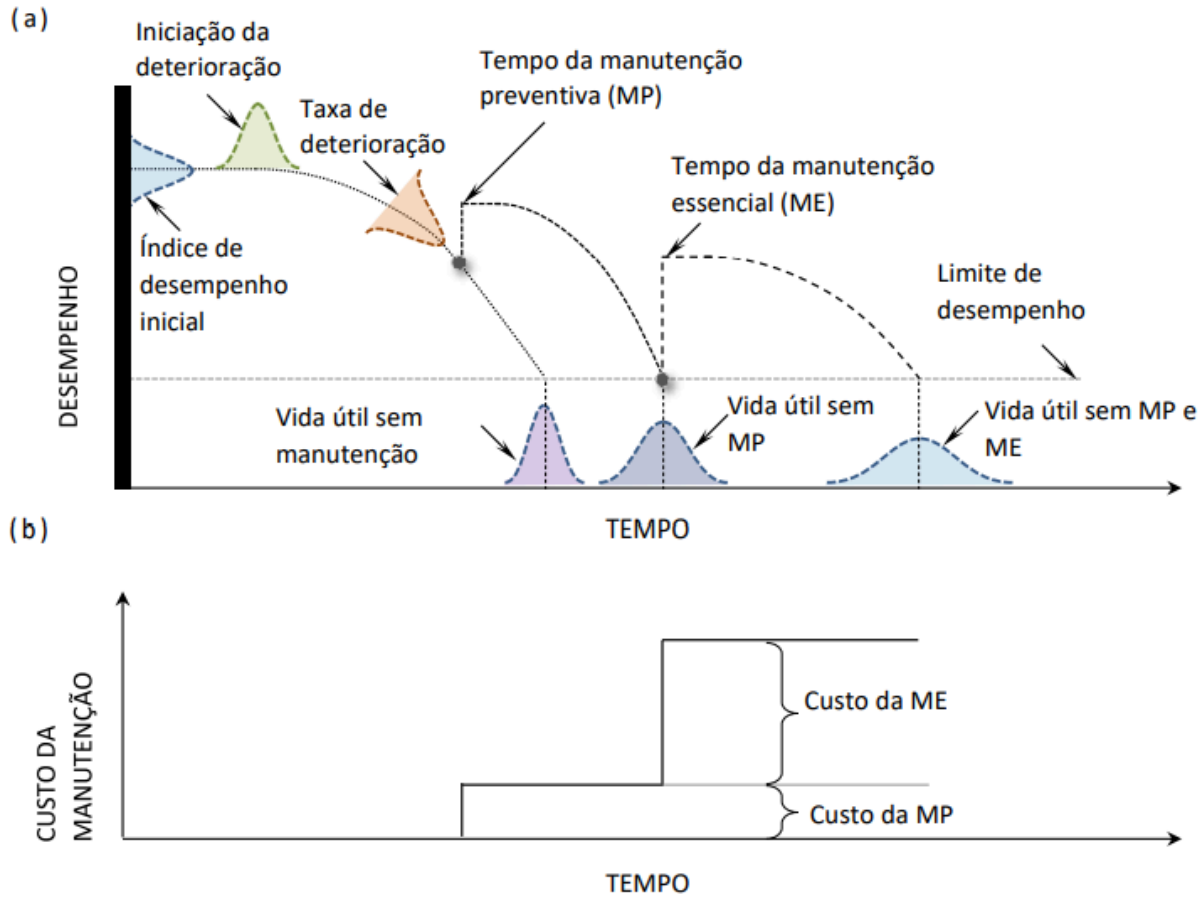
4.7 Diagnóstico

Segundo Verly (2022), as estruturas de concreto armado estão constantemente expostas a diversos agentes presentes no meio ambiente, como variações de temperatura, umidade, agentes químicos, físicos e biológicos. Esses fatores podem comprometer, ao longo do tempo, o desempenho estrutural e funcional da edificação, afetando diretamente sua usabilidade, durabilidade e segurança. Quando não identificadas e tratadas de forma adequada, essas influências podem evoluir para manifestações patológicas mais severas, colocando em risco a integridade da estrutura.

A Figura 15 ilustra a relação entre a deterioração progressiva das estruturas e o aumento dos custos de manutenção ao longo do tempo, evidenciando a importância da intervenção preventiva.

Diante desse cenário, torna-se essencial a realização de um processo sistemático de diagnóstico, que possibilite avaliar com precisão as condições reais da estrutura. Esse processo permite a identificação de falhas, deteriorações e outras anomalias, oferecendo subsídios técnicos para a definição de ações corretivas ou preventivas, como manutenções e reforços estruturais. Dessa forma, o diagnóstico se consolida como uma ferramenta fundamental para garantir a longevidade, o desempenho e a segurança das estruturas de concreto armado.

Figura 15 – Efeito da deterioração e da manutenção no desempenho estrutural.



Fonte: VERLY (2022)

O desempenho de uma estrutura está diretamente relacionado à sua usabilidade e à segurança dos usuários. Para garantir esse desempenho ao longo do tempo, o processo de inspeção se torna essencial, pois permite a verificação das condições reais da estrutura (VERLY, 2022).

Segundo Verly (2022), a "terapia" consiste nas ações corretivas adotadas a partir de um diagnóstico bem executado, sendo, portanto, indispensável que haja um acompanhamento periódico das estruturas. Esse monitoramento contínuo permite identificar e corrigir anomalias em tempo hábil, evitando que pequenos danos evoluam para patologias mais graves e comprometam a funcionalidade da estrutura.

A Figura 16 apresenta o processo metodológico utilizado por Verly para o diagnóstico das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, evidenciando a importância da identificação dos sintomas, mecanismos e causas para uma intervenção eficaz.

Figura 16 – Composição do diagnóstico para manifestações patológicas



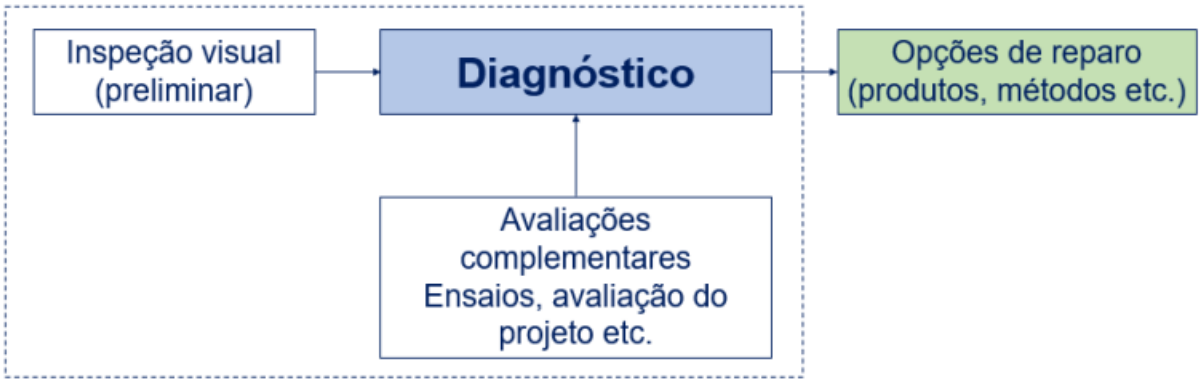
Fonte: VERLY (2022)

O diagnóstico de manifestações patológicas em estruturas de concreto requer a aplicação de técnicas adequadas que permitam identificar, analisar e classificar as anomalias com precisão. Segundo Xavier et al. (2022), a inspeção visual continua sendo uma das principais ferramentas utilizadas nesse processo, por ser de baixo custo e eficiente para a identificação preliminar de danos como fissuras, infiltrações e desplacamentos.

No entanto, Xavier et al. (2022) ressalta a importância de complementar essa inspeção com registros fotográficos, levantamentos geométricos e, quando necessário, ensaios tecnológicos, a fim de garantir maior confiabilidade nas avaliações. A integração dessas técnicas possibilita um diagnóstico mais preciso, contribuindo para a escolha de intervenções adequadas e para o prolongamento da vida útil das estruturas.

A Figura 17 apresenta um fluxograma que ilustra o processo de diagnóstico, destacando como os dados obtidos por meio de inspeções visuais e ensaios complementares devem ser organizados e analisados de forma integrada. Essa abordagem permite uma avaliação mais precisa das condições da estrutura, subsidiando a tomada de decisões técnicas quanto às ações de manutenção, recuperação ou reforço estrutural.

Figura 17 – Integração entre os dados de inspeção visual e ensaios complementares na definição do diagnóstico da estrutura

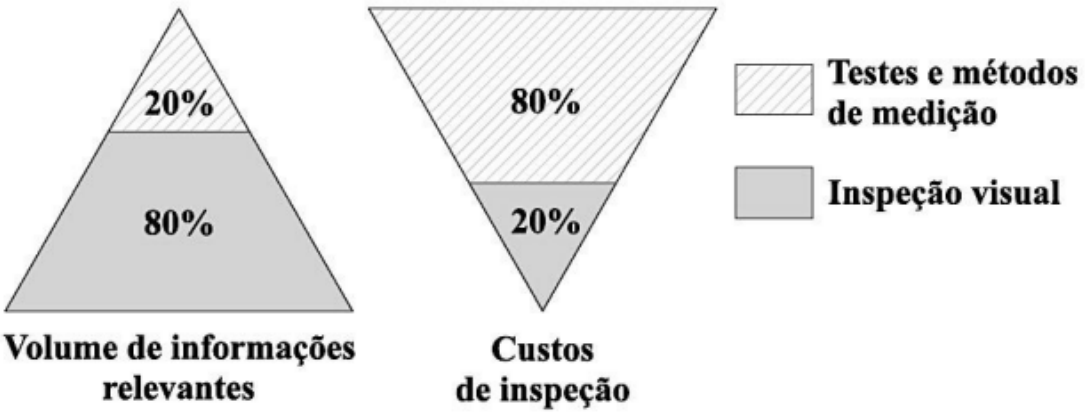


Fonte: VERLY (2022)

As inspeções periódicas são essenciais para garantir a durabilidade, a segurança e o desempenho das estruturas de concreto armado. Segundo Golinhaki e Munhoz (2019), quando os danos não são identificados e tratados precocemente, podem evoluir de forma silenciosa, levando a falhas estruturais mais graves e elevando significativamente os custos de reparo.

Nesse contexto, a adoção de inspeções preventivas permite detectar patologias ainda em estágios iniciais, possibilitando intervenções mais simples e econômicas. A Figura 18 ilustra de forma clara essa relação entre volume de informações relevantes e os custos de inspeção. Essa comparação reforça a importância de se investir em inspeções visuais qualificadas como estratégia eficaz de manutenção e prevenção, promovendo uma gestão mais racional e econômica das obras de arte especiais.

Figura 18 – Importância da inspeção visual mostrada em termos de informações obtidas e dos custos totais de inspeção



Fonte: VERLY (2022)

4.8 PROARTE

O Programa de Manutenção e Reabilitação de Obras de Arte Especiais – PROARTE é uma iniciativa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) que tem como principal objetivo garantir a segurança, a durabilidade e o desempenho das OAEs, como pontes, viadutos, passarelas e estruturas de contenção. Através do programa, são planejadas e executadas ações voltadas à inspeção, manutenção e recuperação dessas estruturas, assegurando que continuem operando de forma eficiente ao longo do tempo.

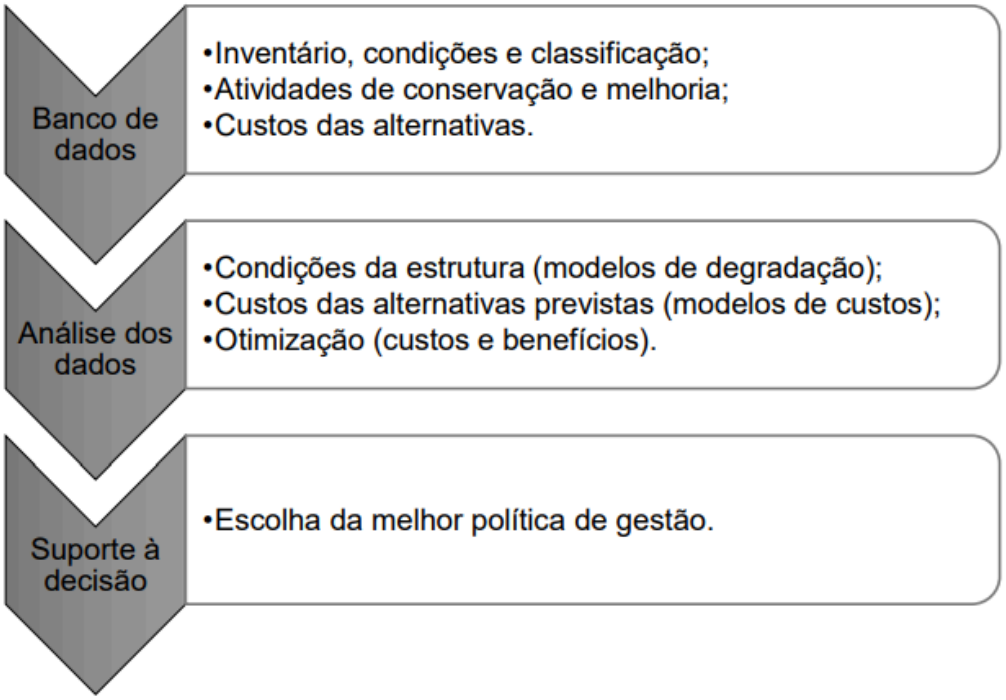
Essa iniciativa é fundamental para evitar falhas estruturais, reduzir riscos de acidentes e promover uma gestão mais estratégica e preventiva da infraestrutura pública. Segundo o DNIT (2024), o programa foi criado justamente para atender à crescente necessidade de manter a funcionalidade e a segurança das OAEs nas rodovias federais, promovendo ações mais eficientes e sustentáveis ao longo do ciclo de vida dessas obras.

O PROARTE é um programa voltado à manutenção e reabilitação das Obras de Arte Especiais (OAEs), promovendo ações que garantam a funcionalidade, segurança e durabilidade dessas estruturas. Já o Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) é a ferramenta oficial adotada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) para monitorar e organizar as informações de todas as OAEs sob sua jurisdição.

O SGO tem como principal objetivo permitir o registro padronizado de inspeções e avaliações estruturais, servindo como base para o planejamento e execução das atividades de manutenção preventiva e corretiva. Através desse sistema, os dados obtidos em campo são armazenados de forma digital, possibilitando maior controle, rastreabilidade e apoio à tomada de decisões técnicas por parte dos gestores públicos, contribuindo diretamente para o aumento da vida útil e da segurança das estruturas rodoviárias brasileiras (DNIT, 2024).

A Figura 19 ilustra de forma esquemática as etapas envolvidas no processo de gerenciamento das Obras de Arte Especiais (OAEs) por meio do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO). Essa sequência permite a organização e o armazenamento sistemático das informações, garantindo a rastreabilidade dos dados e facilitando o planejamento de manutenções corretivas e preventivas ao longo da vida útil das estruturas.

Figura 19 – Etapas do processo de gerenciamento das OAEs no SGO



Fonte: VERLY, (2022)

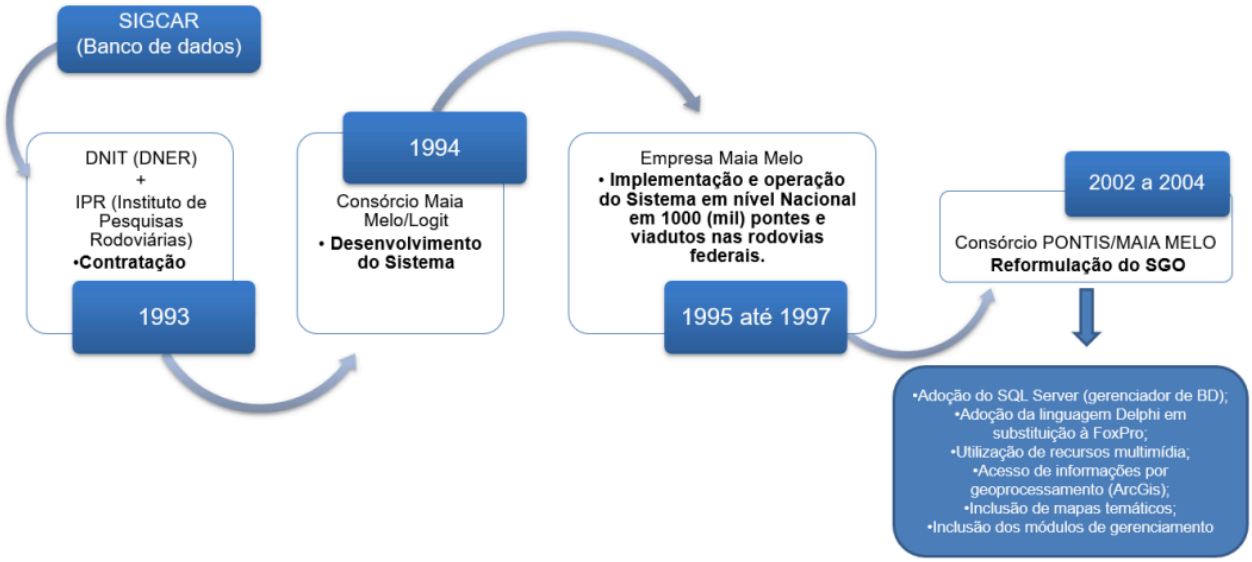
4.8.1 Evolução dos sistemas de gerenciamento de OAEs

Inicialmente, o SGO funcionava apenas como um banco de dados voltado ao armazenamento básico das informações relacionadas às Obras de Arte Especiais (OAEs) sob responsabilidade do DNIT (Silva et al., 2021). No entanto, com o passar dos anos e diante dos novos desafios relacionados à durabilidade e ao desempenho dessas estruturas, surgiu a necessidade de atualização do sistema.

O crescimento do número de OAEs espalhadas pelo país, cada uma com características específicas e sujeitas a diferentes condições ambientais, tornou evidente a importância de um sistema mais robusto, dinâmico e adaptável (Silva et al., 2021). A vasta quantidade de informações já registrada no sistema anterior foi fundamental para a migração e a evolução para a versão atual do SGO.

A Figura 20 ilustra essa trajetória evolutiva, desde sua concepção no antigo DNER até a estrutura moderna utilizada atualmente, que incorpora recursos mais avançados de gerenciamento e análise de dados sobre OAEs.

Figura 20 – Evolução do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) no DNIT



Fonte: SILVA et al., (2021)

4.9 Manutenção nas OAEs

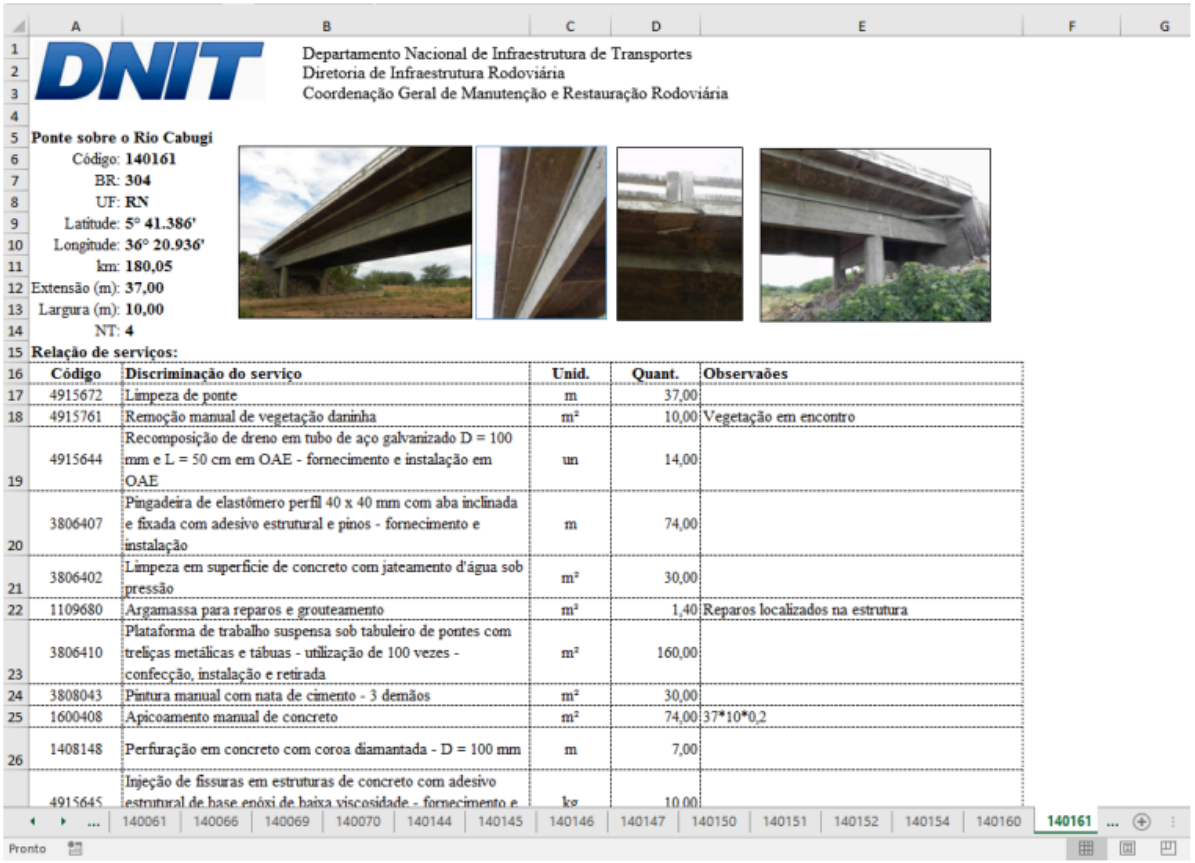
Como destacam Ribeiro et al. (2022), a manutenção é essencial para garantir que a estrutura continue funcionando bem com o passar dos anos, ajudando a frear a deterioração e evitando problemas maiores no futuro. Para que isso ocorra de forma eficiente, esse processo deve ser abrangente, integrando uma gestão eficaz que inclua vistorias periódicas para identificar eventuais anomalias, diagnosticá-las corretamente e, quando necessário, propor as ações de recuperação adequadas.

Diante disso, percebe-se que a manutenção exerce um papel fundamental na preservação das Obras de Arte Especiais (OAEs), pois não apenas contribui para evitar o agravamento de problemas estruturais, mas também otimiza os recursos destinados à infraestrutura, promovendo segurança, funcionalidade e economia a longo prazo.

O DNIT utiliza o Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) como ferramenta principal para o controle e organização das OAEs sob sua responsabilidade. Como ilustrado na Figura 21, o sistema permite a elaboração de uma ficha de serviço contendo os procedimentos a serem executados em casos de manutenção.

Nessa ficha, são reunidas as principais informações necessárias para orientar as ações de recuperação da estrutura, como tipo de intervenção, elementos afetados, quantidades estimadas e observações relevantes (VERLY, 2022). Essa padronização contribui para uma atuação mais eficiente e segura nas etapas de manutenção.

Figura 21 – Ficha de Serviços de Manutenção Gerada pelo Sistema SGO



Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
Diretoria de Infraestrutura Rodoviária
Coordenação Geral de Manutenção e Restauração Rodoviária

Ponte sobre o Rio Cabugi
Código: **140161**
BR: **304**
UF: **RN**
Latitude: **5° 41.386'**
Longitude: **36° 20.936'**
km: **180,05**
Extensão (m): **37,00**
Largura (m): **10,00**
NT: **4**

Relação de serviços:

Código	Discriminação do serviço	Unid.	Quant.	Observaões
4915672	Limpeza de ponte	m	37,00	
4915761	Remoção manual de vegetação daninha	m²	10,00	Vegetação em encontro
4915644	Recomposição de dreno em tubo de aço galvanizado D = 100 mm e L = 50 cm em OAE - fornecimento e instalação em OAE	un	14,00	
3806407	Pingadeira de elastômero perfil 40 x 40 mm com aba inclinada e fixada com adesivo estrutural e pinos - fornecimento e instalação	m	74,00	
3806402	Limpeza em superfície de concreto com jateamento d'água sob pressão	m²	30,00	
1109680	Argamassa para reparos e grouteamento	m³	1,40	Reparos localizados na estrutura
3806410	Plataforma de trabalho suspensa sob tabuleiro de pontes com treliças metálicas e tábuas - utilização de 100 vezes - confecção, instalação e retirada	m²	160,00	
3808043	Pintura manual com nata de cimento - 3 demãos	m²	30,00	
1600408	Apicoamento manual de concreto	m²	74,00	37*10*0,2
1408148	Perfuração em concreto com coroa diamantada - D = 100 mm	m	7,00	
4915645	Injeção de fissuras em estruturas de concreto com adesivo estrutural de base epóxi de baixa viscosidade - fornecimento e	kg	10,00	

140061 | 140066 | 140069 | 140070 | 140144 | 140145 | 140146 | 140147 | 140150 | 140151 | 140152 | 140154 | 140160 | 140161

Pronto

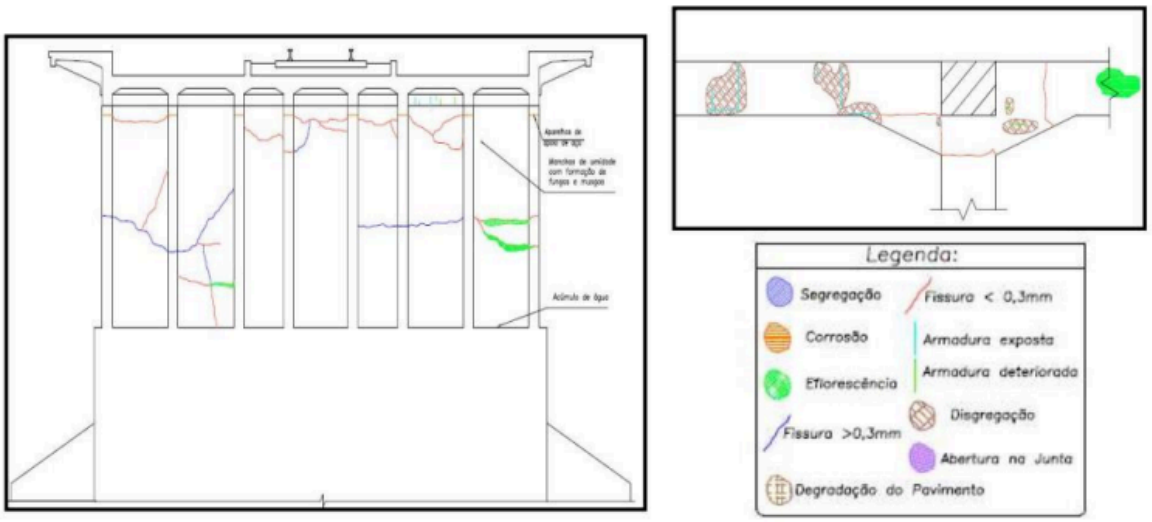
Fonte: VERLY (2022)

A definição das ações necessárias para a recuperação de uma estrutura depende da análise criteriosa de um profissional habilitado, que deve levar em consideração o grau de deterioração apresentado, conforme os critérios estabelecidos pelas normas técnicas vigentes.

Essas normas orientam a avaliação com base no tipo de elemento estrutural e sua localização dentro do sistema como um todo. Ao final do processo de inspeção e análise, a estrutura recebe uma nota que a classifica em uma das seguintes categorias: Excelente, Boa, Regular, Ruim, Crítica ou Emergencial. Essa classificação é essencial para priorizar as intervenções, pois orienta a tomada de decisão quanto à urgência e à natureza dos serviços de manutenção ou recuperação que deverão ser executados na OAE.

A Figura 22 ilustra o processo de identificação das anomalias em uma Obra de Arte Especial (OAE) por meio de representações gráficas. São utilizados rabiscos, traços e linhas específicas que indicam tanto o tipo quanto as características das manifestações patológicas observadas (Verly, 2022). Esse tipo de registro facilita a visualização das anomalias no elemento estrutural, auxiliando na interpretação dos dados coletados durante a inspeção e contribuindo para o diagnóstico preciso da estrutura.

Figura 22 – Representação gráfica das anomalias identificadas em uma OAE



Fonte: VERLY (2022)

4.10 BIM e sua Aplicação em Infraestruturas

4.10.1 Conceito e definição do BIM

O conceito de Building Information Modeling (BIM) remonta à década de 1970, período em que surgiram os primeiros estudos voltados à integração de dados gráficos e não gráficos em ambientes computacionais. Contudo, foi a partir das décadas seguintes que o BIM passou a ser efetivamente reconhecido como uma abordagem inovadora para o desenvolvimento e a gestão de projetos na construção civil.

Sua proposta central consiste na consolidação de diversas informações ao longo do ciclo de vida do empreendimento em um modelo digital único, que permite representações bidimensionais, tridimensionais e a incorporação de dados adicionais, como planejamento, custos e desempenho (EASTMAN et al., 2011). No contexto brasileiro, a disseminação do BIM teve um avanço mais significativo a partir de 2004, período em que o termo passou a ser amplamente utilizado e suas aplicações começaram a ganhar maior aderência nos processos de projeto, construção e manutenção de edificações e infraestruturas (SANTOS, 2017).

De acordo com a empresa de software Autodesk (2025), o BIM é definido como um processo holístico de criação e gerenciamento de informações relacionadas a um recurso construído. Esse processo é baseado em um modelo inteligente e apoiado por uma plataforma

em nuvem, permitindo a integração de dados estruturados e multidisciplinares. Dessa forma, o BIM possibilita a criação de uma representação digital da construção ao longo de todo o seu ciclo de vida, abrangendo desde o planejamento e o projeto até as fases de construção e operação.

Para Oliveira (2016), a modelagem da informação na construção vai muito além das representações gráficas em 3D. Seu uso permite a consolidação de diversas informações em um único ambiente digital, como o banco de dados do projeto, cronogramas, controle de tempo de mão de obra e quantificação de materiais. Esses elementos podem ser gerados de forma automática, o que contribui para a redução de falhas, possibilita a simulação de alternativas e permite a realização de testes relacionados ao comportamento da estrutura com base no modelo desenvolvido.

À medida que os projetos da indústria da AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações) se tornam cada vez mais complexos, o uso do BIM tem se mostrado indispensável para atender às demandas do setor. O BIM vem se consolidando como uma tendência nos processos da indústria da AECO, transformando significativamente a forma como os projetos são desenvolvidos e como o ciclo de vida das construções é gerenciado (FERREIRA et al., 2022). Por esse motivo, o BIM pode ser compreendido não apenas como uma ferramenta, mas como uma metodologia de projeto e gestão.

O BIM (Building Information Modeling) é uma metodologia que busca integrar e facilitar o trabalho simultâneo de diversas disciplinas de projeto, acomodando muitas das funções necessárias para modelar o ciclo de vida de um empreendimento. Quando concluído, o modelo gerado por computador contém geometria precisa e dados relevantes que apoiam todas as etapas da construção. Dessa forma, é possível reduzir significativamente os erros de projeto, evitando retrabalhos e problemas futuros (EASTMAN et al., 2011).

Com o avanço das ferramentas computacionais, o BIM passou a ser adotado como uma solução eficiente para integrar informações de diferentes disciplinas dentro de um mesmo projeto. Essa abordagem permite que diversos profissionais atuem de forma simultânea, promovendo uma melhor coordenação e sincronização dos dados ao longo das etapas do desenvolvimento. Segundo Moreira (2015), a construção civil tem demonstrado um interesse crescente na utilização do BIM, especialmente pelas vantagens na gestão da informação, que possibilita a incorporação de dados consistentes desde a concepção até as fases de operação e manutenção da edificação.

Entre os principais benefícios do BIM, destaca-se a capacidade de prever resultados ainda na fase de desenvolvimento do projeto. Essa previsibilidade contribui para

uma melhor coordenação entre os sistemas envolvidos, além de permitir uma análise mais completa do ciclo de vida da construção.

Segundo Pretti (2013), o sistema BIM opera com elementos paramétricos que estão vinculados a bancos de dados. Isso significa que os objetos representados visualmente estão conectados a informações específicas (parâmetros). Portanto, durante o processo de criação do empreendimento, a utilização desses elementos permite a extração automática de informações não apenas relacionadas ao desenho, mas também a dados de orçamento, quantidades e outros aspectos relevantes. Além disso, qualquer modificação na concepção do projeto resulta em uma alteração geral, garantindo a consistência e a atualização de todas as informações.

Embora a abordagem BIM esteja sendo extensivamente pesquisada e adotada em várias áreas da engenharia civil, sua aplicação em obras de infraestrutura ainda é considerada incipiente. No entanto, o uso dessa metodologia em projetos de infraestrutura de transporte oferece diversos benefícios substanciais. Entre esses benefícios estão a execução da construção com maior precisão técnica, orçamentária e de cronograma, melhorias na qualidade do projeto e na visualização, além de facilidades na manutenção preventiva e na análise de conflitos (AUTODESK, 2018).

Essas ferramentas, ao modelar os dados do projeto e as especificações de uma construção ou instalação, introduzem novas funcionalidades. Isso significa que os processos tradicionais, baseados principalmente em documentos, podem agora ser realizados de forma muito mais eficiente, orientados por modelos, o que representa uma abordagem mais eficaz.

A Figura 23 ilustra todas as etapas do ciclo de vida de um empreendimento integradas pelo BIM, desde o planejamento até as fases de projeto, construção, gerenciamento da obra, manutenção e eventual demolição.

Figura 23 – Ciclo de vida de um empreendimento em BIM



Fonte: Biblus (2020)

Diversos países já utilizam o BIM em obras públicas. No Brasil, a Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, estabelece a obrigatoriedade do uso do BIM. A legislação brasileira prevê uma implantação gradual do sistema, começando no início de 2021 e se estendendo até 2028. A implementação será dividida em três fases: criação de bases na Fase 1, expansão na Fase 2 e obrigatoriedade na Fase 3, visando disseminar o uso do BIM tanto no setor público quanto no privado (BRASIL, 2018).

Com a adoção dos conceitos do BIM nas organizações, os projetistas passam a dedicar mais tempo ao planejamento e à pesquisa, o que contribui para a redução de desperdícios e retrabalhos durante a execução da obra. Conforme destacado no PMBOK (2013, p. 58), “ao longo do ciclo de vida do projeto, a quantidade de dados e informações coletadas pode ser analisada e distribuída como relatórios para vários membros da equipe do projeto e outras partes interessadas”.

Dessa forma, observa-se que o BIM oferece importantes vantagens, como a modelagem paramétrica, que possibilita o levantamento preciso de materiais, a interoperabilidade entre diferentes disciplinas e a geração de simulações, tornando o processo de projeto mais integrado e eficiente.

4.10.2 Evolução do BIM

Desde a década de 1960, os avanços da ciência da computação têm impactado profundamente diversas áreas do conhecimento, impulsionando o mundo em direção ao que

hoje é conhecido como transformação digital. Esse processo consiste em uma mudança de paradigmas tecnológicos, marcada pela transição de métodos analógicos para sistemas digitais mais eficientes e integrados (WEISS, 2019).

Na Indústria da Construção Civil (ICC), essa transformação não foi diferente. Com o tempo, a necessidade de projetos mais precisos, eficientes e bem coordenados levou à realização de diversas pesquisas voltadas ao desenvolvimento de soluções tecnológicas. Como resultado, surgiram ferramentas digitais capazes de auxiliar no design, detalhamento e análise estrutural de edificações e infraestruturas (EASTMAN et al., 2011).

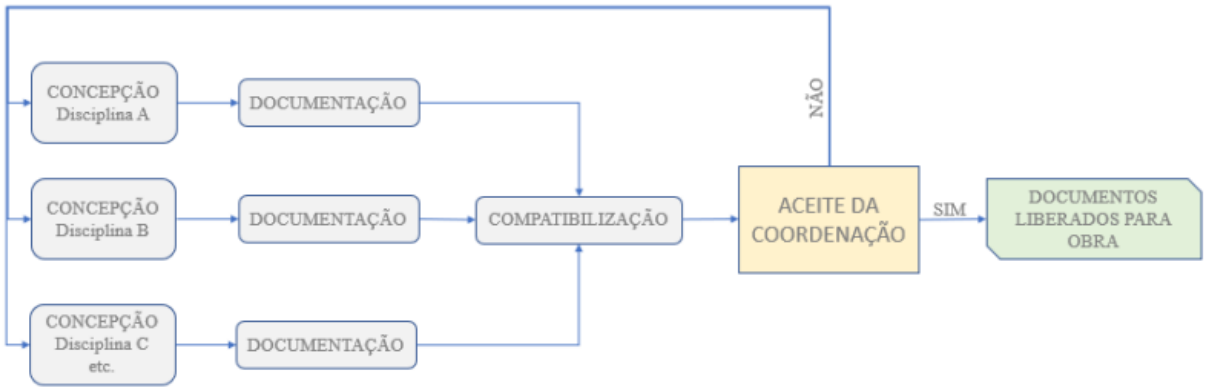
Inicialmente, os projetos eram elaborados por meio do fluxo tradicional baseado em *Computer-Aided Design* (CAD), caracterizado por representações bidimensionais (2D) e por uma comunicação fragmentada entre os agentes envolvidos. Com a introdução da metodologia BIM, passou a ser possível integrar os diversos projetos de maneira mais eficiente, permitindo, ainda na fase de compatibilização, a identificação e a antecipação de possíveis conflitos entre as disciplinas.

De acordo com Amorim (2020), a compatibilização no contexto do BIM desempenha um papel essencial para garantir que os diversos projetos envolvidos em uma obra, como arquitetura, estrutura, instalações elétricas e hidráulicas, estejam alinhados entre si. Por meio da integração dos modelos em um ambiente compartilhado, o BIM permite identificar e corrigir interferências ou inconsistências ainda na fase de projeto, evitando retrabalhos na execução. Esse processo não apenas melhora a comunicação entre as equipes, mas também contribui para uma maior precisão na obra, redução de custos e otimização do cronograma.

No processo tradicional baseado em CAD, a compatibilização entre os projetos é feita de forma manual, por meio da sobreposição de plantas em 2D, como cortes, fachadas e plantas baixas. Isso exige que os profissionais analisem visualmente as interferências entre os diferentes sistemas da obra, o que torna o processo demorado e propenso a erros.

A figura 24 ilustra essa prática, demonstrando como a checagem de compatibilidade no CAD depende da interpretação individual dos projetistas, o que pode gerar inconsistências e retrabalhos durante a execução. Além disso, qualquer alteração em um projeto exige atualizações manuais nos demais, aumentando o risco de desencontros de informação.

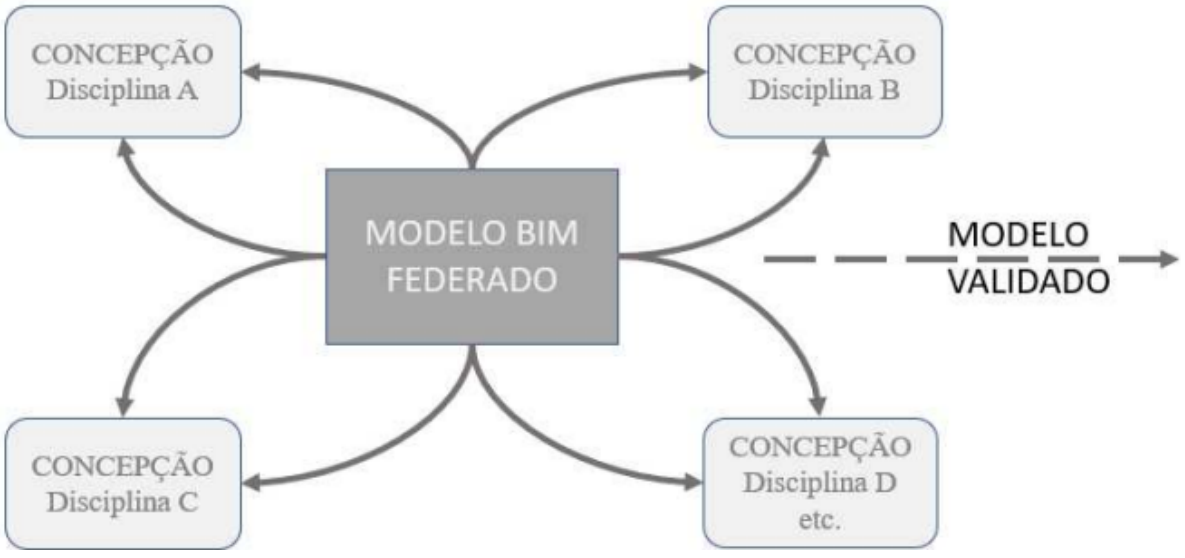
Figura 24 – Fluxo do processo de projeto CAD



Fonte: CARVALHO (2021)

Segundo Amorim (2020), o modelo federado é bem mais eficiente para a gestão integrada de projetos, pois permite que diferentes disciplinas desenvolvam seus próprios modelos separadamente, mas que, ao serem reunidos, componham uma visão única e coordenada do empreendimento, conforme ilustrado na figura 25. Nesse modelo, cada equipe, como arquitetura, estrutura e instalações, mantém a autonomia sobre seu projeto, mas as informações são integradas em um ambiente comum, sem a necessidade de alterar os arquivos originais.

Figura 25 – Processo colaborativo simultâneo no BIM



Fonte: CARVALHO (2021)

Com o desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias associadas ao BIM, sua aplicação expandiu-se para além da representação tridimensional, configurando-se como uma

ferramenta essencial para a gestão integrada dos projetos de engenharia civil. Atualmente, o BIM permite a incorporação de informações precisas e atualizadas, incluindo dados provenientes de sensores e sistemas de monitoramento, possibilitando a criação de gêmeos digitais que refletem o comportamento real das estruturas ao longo de seu ciclo de vida.

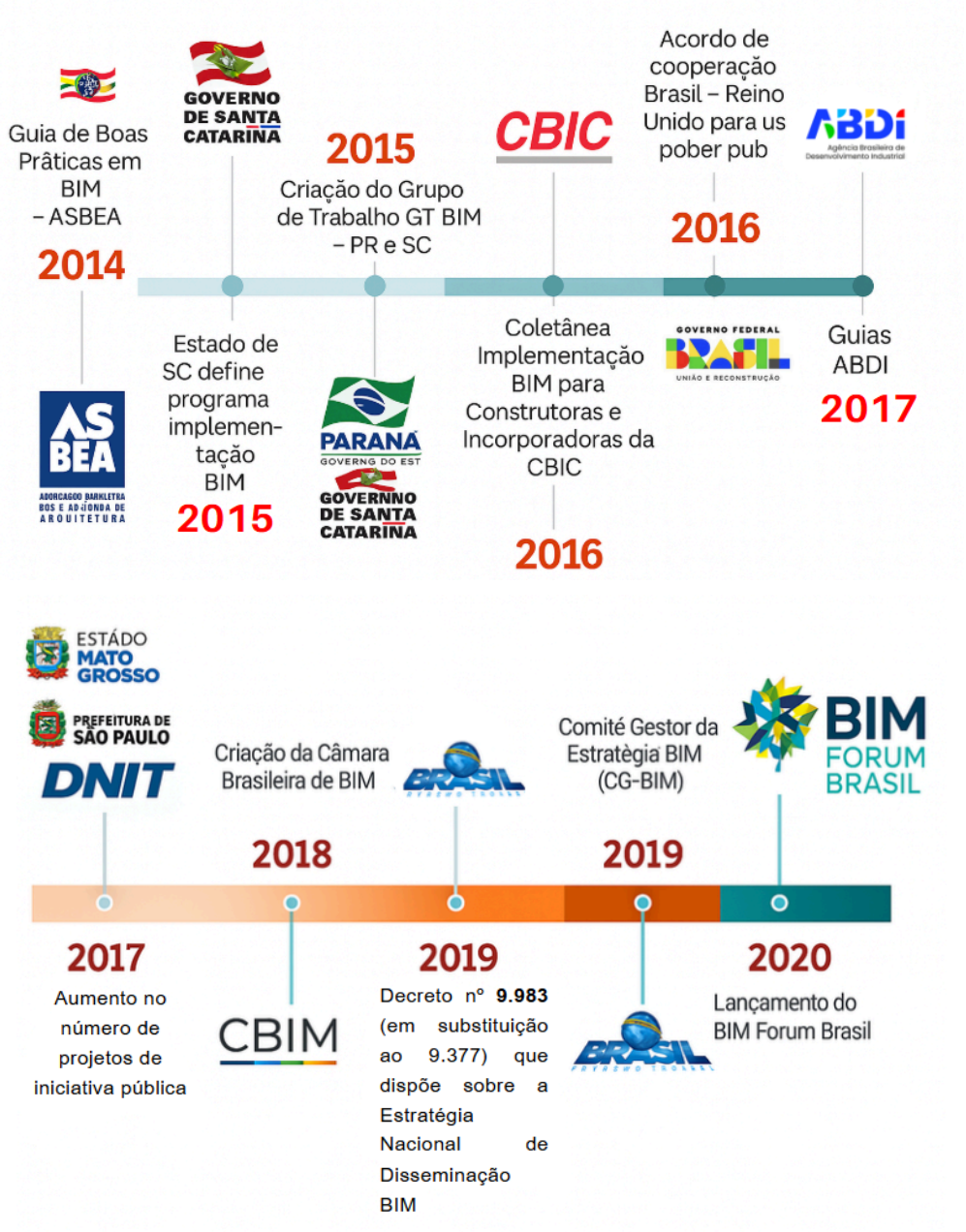
Essa integração tecnológica fortalece a eficiência na tomada de decisões, contribuindo para a otimização dos processos construtivos, a mitigação de riscos e a garantia da sustentabilidade e durabilidade das edificações, alinhando-se às melhores práticas consolidadas na engenharia civil.

De acordo com Boton (2020), ao analisar os temas e agrupamentos que compõem a transformação digital (TD) na construção civil, o BIM (Building Information Modeling) aparece como o principal protagonista, muitas vezes ofuscando outras tecnologias emergentes. Esse destaque se dá pela capacidade do BIM de integrar dados, processos e profissionais ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento.

Paralelamente à evolução da TD no setor, o poder público tem atuado como um importante agente impulsionador da adoção do BIM, tornando seu uso obrigatório em diversos países. Esse movimento teve início na Dinamarca, em 2007, e foi gradualmente adotado por outras nações (MUSTAFFA; SALLEH, 2017).

No Brasil, esse avanço foi formalizado com a aprovação do Projeto de Lei nº 6.619/2017, que estabeleceu a obrigatoriedade do uso da metodologia BIM na elaboração de projetos executivos e na contratação de serviços por órgãos e entidades públicas a partir de 2021. O plano prevê uma adoção progressiva: em 2024, passa a ser exigido também no planejamento e gerenciamento de obras, e, a partir de 2028, será obrigatório durante todo o ciclo de vida dos empreendimentos públicos (BRASIL, 2018). Na Figura 26, é apresentada a evolução histórica da metodologia BIM no Brasil, destacando seus principais marcos e avanços ao longo dos últimos anos.

Figura 26 – Marcos em BIM no Brasil



Fonte: Coan et al. (2021)

4.10.3 Níveis de maturidade do BIM

Dada a natureza multidisciplinar e multifásica do Building Information Modeling (BIM), a avaliação de sua aplicação em uma organização deve considerar os objetivos específicos e as características operacionais de cada contexto (Becerik-Gerber et al., 2012). Nesse sentido, a utilização de modelos de maturidade torna-se fundamental para identificar e mensurar o grau de desenvolvimento e integração do BIM nos processos internos. É importante salientar que a maturidade BIM não se restringe ao domínio das ferramentas

tecnológicas, mas está diretamente associada ao nível de maturidade digital da organização como um todo. A implementação eficaz do BIM exige uma abordagem sistêmica, que envolva a adaptação de processos, políticas de gestão da informação e o comprometimento de todos os agentes envolvidos (ISO 19650-3, 2020; EN ISO 41001, 2018).

A maturidade digital de uma organização está relacionada à sua capacidade de utilizar tecnologias digitais para aprimorar seus processos e apoiar a tomada de decisões (Haryanti et al., 2023). No entanto, quando se trata do ambiente da construção civil, esse conceito está diretamente ligado à habilidade da organização em extrair ao máximo os benefícios do BIM, adaptando seus processos e sua cultura organizacional de forma coerente com essa metodologia. Nesse contexto, os modelos de maturidade do BIM desempenham um papel essencial, pois oferecem diretrizes que ajudam as empresas e demais envolvidos a entenderem seu nível de desenvolvimento em relação à modelagem da informação, além de apontarem caminhos para melhorar seus processos (Shaw et al., 2022).

Um dos modelos mais utilizados para avaliar o nível de maturidade do BIM é o modelo de Bew-Richards, citado por Becerik-Gerber et al. (2012). Esse modelo se baseia na evolução natural da adoção da metodologia BIM, considerando a forma como ela é implementada na prática dentro das organizações. A proposta do modelo é classificar a maturidade em uma escala de 0 a 3, conforme ilustrado na Tabela 3, permitindo uma visão progressiva do desenvolvimento da integração do BIM nos processos de projeto e gestão.

Tabela 3 – Descrição do Nível de Maturidade BIM Bew-Richards

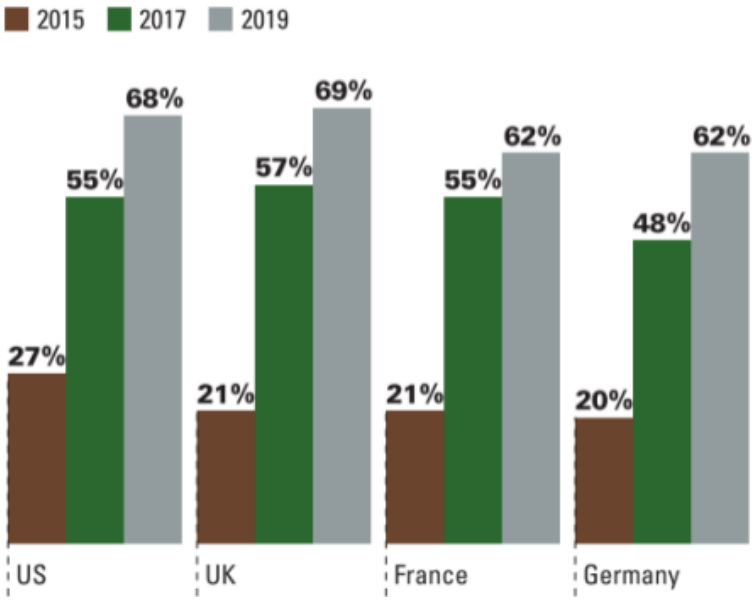
Nível	Descrição
Nível 0	Envolve a utilização de software como o MS Office para a gestão de informações e modelos de desenho assistido por computador (CAD) em 2D. A informação é partilhada em papel ou em formato digital.
Nível 1	Envolve o uso de software específico para gestão de edifícios e infraestruturas. São utilizados modelos CAD em 2D e 3D, e a informação é partilhada entre as partes interessadas num ambiente comum de dados (CDE), assumindo apenas uma colaboração parcial.
Nível 2	Envolve o uso de modelos BIM já enriquecidos com informações adicionais que acrescentam valor ao modelo, podendo ser apenas parcialmente integrados num único modelo. Modelos digitais gêmeos associados a sensores para monitorização podem ser utilizados. Inclui a partilha de informações num arquivo padrão (como *Industry Foundation Classes* – IFC) e um CDE.
Nível 3	Envolve o uso de modelos BIM totalmente integrados (iBIM) entre as partes envolvidas no planeamento, construção e gestão do ativo, e um único modelo com informação centralizada, no qual os dados podem ser consultados e modificados por todas as partes envolvidas.

Fonte: Becerik-Gerber et al. (2012)

4.10.4 Benefícios da utilização do BIM em projetos de infraestrutura

O uso da Modelagem da Informação da Construção (BIM) já se encontra amplamente disseminado em vários países, especialmente em projetos voltados para edificações. Mais recentemente, o setor de infraestrutura tem buscado adaptar essa metodologia e suas ferramentas às suas especificidades, com o objetivo de alcançar benefícios semelhantes aos observados no contexto das edificações (Corrêa et al., 2019). O Gráfico 1 ilustra a evolução da adoção do BIM em projetos de infraestrutura de transporte em diferentes países, evidenciando o avanço gradual dessa tecnologia no setor.

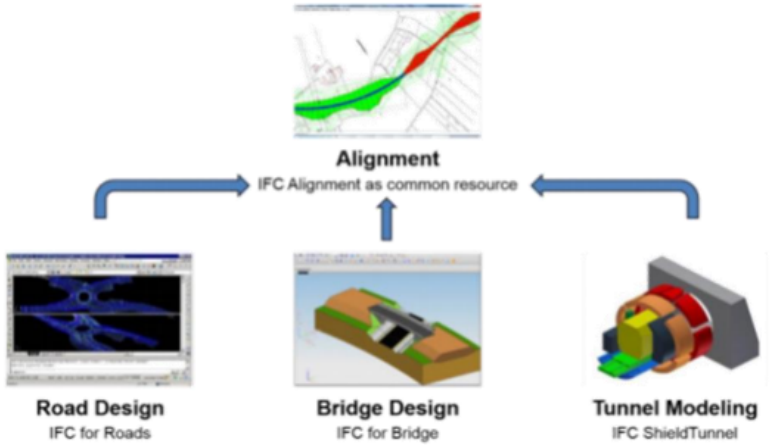
Gráfico 1 – Porcentagem das empresas pesquisadas que usam BIM em 50% ou mais dos projetos de infraestrutura de transportes



Fonte: Dodge Data & Analytics (2017)

A ampliação do uso do BIM no setor de infraestrutura representa um desafio, sobretudo pela complexidade dos projetos e pela grande quantidade de partes envolvidas, como projetistas de diferentes disciplinas, especialistas, construtores e fornecedores. Diante da relevância do tema, a buildingSMART passou a incluir, a partir da versão 4.1 da especificação IFC, entidades específicas voltadas para infraestrutura. Um exemplo é o IFCAlignment (Figura 27), que marca o início da padronização do BIM para projetos lineares.

Figura 27 – IFC para infraestrutura



Fonte: buildingSMART (2014)

Segundo Costin (2018), o BIM pode ser utilizado como uma ferramenta estratégica para o gerenciamento de riscos, com foco na melhoria da segurança e na eficiência dos processos. A aplicação do planejamento 4D, que incorpora a variável tempo ao modelo, permite definir a sequência e a duração das tarefas de forma mais precisa, contribuindo significativamente para a análise e a mitigação de riscos durante a execução do empreendimento. O uso do BIM nessa etapa auxilia os profissionais na identificação e correção de possíveis falhas ainda na fase de planejamento, o que contribui para o aumento da produtividade e para a redução de riscos relacionados ao tempo e aos custos do projeto, por meio de simulações, visualizações e quantificações mais realistas.

Quando aplicado a obras de infraestrutura de transporte, como a construção de um corredor de metrô subterrâneo, o BIM se mostra especialmente eficaz. Ele melhora a coordenação entre as diferentes equipes envolvidas, favorece a colaboração entre disciplinas e reduz a ocorrência de conflitos, riscos e custos adicionais. Dessa forma, a metodologia permite que os responsáveis pelo projeto avaliem não apenas os benefícios econômicos proporcionados por sua adoção, mas também os impactos negativos que podem surgir caso não haja um gerenciamento adequado de riscos, tempo e custos.

A aplicação do BIM na prototipagem virtual, simulação e modelagem de infraestrutura tem gerado diversos benefícios para a indústria da construção, especialmente por meio da melhor visualização e aproveitamento dos dados. Segundo Costin (2018), essas ferramentas impactam positivamente desde a fase de estudo de viabilidade, permitindo a comparação entre diferentes cenários de projeto, simulações dos processos construtivos, análise técnica da viabilidade e organização da documentação do projeto.

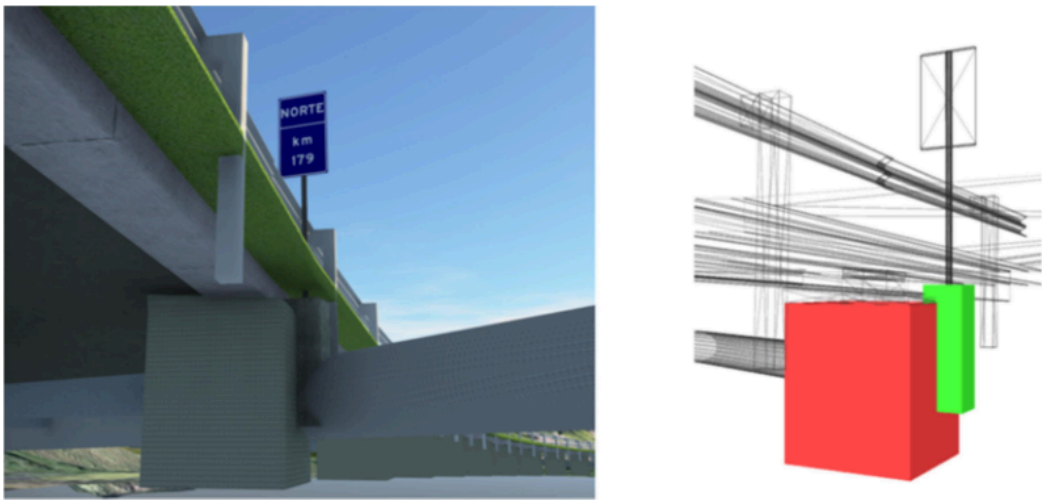
Além disso, outro avanço importante promovido pela metodologia BIM está relacionado à análise de sustentabilidade e consumo energético ao longo de todo o ciclo de vida da obra. De acordo com Marzouk et al. (2017), essa análise permite levantar dados fundamentais, como o consumo de energia relacionado à sinalização e iluminação de uma rodovia, bem como a quantidade de combustível necessário para a manutenção dos equipamentos. Essas informações contribuem para uma gestão mais eficiente e ambientalmente consciente das infraestruturas de transporte.

Segundo Costin (2018), a aplicação do BIM em empreendimentos de infraestrutura traz diversos benefícios ao processo de projeto. Entre os principais ganhos observados, destacam-se a melhoria na capacitação de novos projetistas, o aumento da capacidade de entrega de serviços, a padronização dos processos de desenvolvimento de projetos, além da manutenção e expansão do portfólio da organização. O uso da metodologia também permite uma significativa redução no tempo destinado à documentação, possibilitando que mais tempo seja dedicado às atividades de concepção e desenvolvimento do design.

Um dos principais desafios enfrentados em obras de grande porte é a perda de informações ao longo do fluxo de desenvolvimento do projeto. Esse tipo de empreendimento demanda uma grande quantidade de dados para que seu dimensionamento seja realizado de forma adequada. No contexto brasileiro, a forma como são exigidos os projetos de rodovias ainda dificulta a análise de interferências entre diferentes empreendimentos, principalmente devido à limitação da representação em 2D, que torna esse processo mais trabalhoso e, muitas vezes, negligenciado pelos órgãos responsáveis.

Nesse cenário, a utilização de um modelo virtual parametrizado se mostra extremamente vantajosa, pois facilita a identificação de incompatibilidades entre projetos, a estimativa de custos e a verificação de conformidade com normas e regras técnicas. Atualmente, diversos softwares baseados em BIM já oferecem recursos que permitem a detecção automática de interferências entre disciplinas, de forma ágil e precisa. A Figura 28 ilustra um exemplo da aplicação do BIM na análise de conflitos, utilizando o software Navisworks para integrar e verificar modelos de diferentes especialidades de projeto.

Figura 28 – Análise de interferência entre projetos de sinalização e drenagem



Fonte: Autodesk (2025)

Nos últimos anos, o Building Information Modeling (BIM) promoveu uma transformação na digitalização de ativos estruturais e suas informações, criando um gêmeo digital (Chan et al. 2016). No campo da engenharia de pontes, essa abordagem é conhecida como Bridge Information Modeling (BrIM).

4.11 Metodologia BrIM (Bridge Information Modeling)

4.11.1 Definição e conceitos do BrIM

A aplicação bem-sucedida do BIM no campo da engenharia de pontes, conhecida como BrIM (*Bridge Information Modeling*), tem se consolidado como uma alternativa eficiente aos tradicionais processos de gerenciamento de ativos baseados em papel. Segundo Mohammadi et al. (2022), o BrIM atua como um gêmeo digital orientado por dados, oferecendo melhor visualização e uma compreensão mais aprofundada das condições estruturais da ponte. Isso proporciona aos gestores e avaliadores uma base mais sólida para a tomada de decisões relacionadas à avaliação e ao gerenciamento das estruturas.

De acordo com Costin et al. (2018), estruturas como pontes apresentam características muito distintas em relação aos edifícios, especialmente nas fases de construção e operação. Aspectos como o alinhamento da estrutura com a via e outras particularidades funcionais tornam necessário diferenciar o BrIM (Bridge Information Modeling) do BIM tradicional. Além disso, o elevado investimento exigido durante as etapas de operação e manutenção ao longo do ciclo de vida das pontes reforça ainda mais a importância de tratar o BrIM como uma metodologia específica e adaptada à realidade das obras de arte especiais.

Na fase operacional das pontes — que envolve atividades como o monitoramento estrutural, inspeções, classificação de condições e priorização de intervenções — o BrIM tem se destacado como uma ferramenta integradora de dados provenientes de diferentes tecnologias. Entre os dispositivos utilizados, destacam-se os veículos aéreos não tripulados (drones) equipados com câmeras para inspeção visual, além de scanners a laser que capturam nuvens de pontos e possibilitam a geração de modelos tridimensionais da estrutura (Rios et al., 2024). Um exemplo prático dessa aplicação é um estudo que propõe o uso de softwares de Modelagem da Informação da Construção para vincular e analisar dados obtidos nas etapas de inspeção, avaliação e gestão de pontes, promovendo maior eficiência e precisão no processo de tomada de decisão.

Na prática, o BrIM consiste em um modelo 3D da ponte desenvolvido em CAD, ao qual são integradas diversas informações não geométricas, como localização, número de identificação, histórico de revisões de projeto, relatórios de inspeção, número e condição dos componentes, registros de manutenção, materiais utilizados, entre outros dados relevantes. Essa integração favorece uma abordagem mais eficiente e precisa no acompanhamento do ciclo de vida das obras de arte especiais.

O BrIM é uma plataforma compartilhada que atua como um banco de dados abrangente. Ela geralmente consiste em modelos geométricos da ponte, gerados por computador, que representam digitalmente as características físicas do ativo (Mohammadi et al. 2022). Além disso, o BrIM inclui informações não geométricas, como documentação digital, relatórios de inspeção visual, registros de locais de danos e históricos de manutenção, dados de sensores remotos, resultados de testes de diagnóstico, especificações dos materiais dos elementos e outras informações relevantes.

Com um BrIM, essas informações podem ser amplamente compartilhadas entre todas as partes interessadas envolvidas. Isso auxilia tanto o gerente da ponte quanto os avaliadores, fornecendo uma referência valiosa para suas decisões futuras.

O BrIM avançou significativamente nas fases de projeto e construção de pontes, transformando a maneira como os projetos de infraestrutura são planejados e executados. No entanto, há uma lacuna evidente na aplicação total do potencial do BrIM na fase de operação e manutenção (O&M), especialmente na simplificação da interação entre inspetores e modelos BrIM durante as inspeções no local.

4.11.2 Vantagens da aplicação do BrIM na avaliação e manutenção de OAEs

A principal vantagem do BrIM está na sua capacidade de integrar um modelo físico 3D inteligente em um ambiente que favorece a interoperabilidade entre diferentes aplicações voltadas ao projeto de pontes. Essa integração possibilita uma troca de informações mais robusta e eficiente entre diversas ferramentas e softwares, resultando em um processo de projeto e gerenciamento mais coeso e simplificado (SAJU, 2022).

Ao explorar o potencial do BrIM, os profissionais envolvidos na área de infraestrutura podem tomar decisões mais bem fundamentadas, otimizar as estratégias de manutenção e, consequentemente, contribuir para o desempenho e a segurança das pontes ao longo de sua vida útil.

O uso do BrIM em Sistemas de Manutenção de Pontes (SMPs) tem sido amplamente adotado em diversos países, oferecendo soluções eficazes para a coleta, o armazenamento e o uso de informações sobre danos estruturais com base em sua localização (JEON et al., 2023). Esses dados são integrados diretamente aos modelos BIM, permitindo que informações provenientes de inspeções, avaliações e atividades de gerenciamento sejam vinculadas ao modelo digital da ponte. Dessa forma, os inspetores podem acompanhar de forma sistemática a deterioração da estrutura em um modelo tridimensional, possibilitando o monitoramento em tempo real das condições da ponte (JEON et al., 2023).

A implementação do BrIM para a coleta de dados em campo, por meio da integração com tecnologias avançadas, tem contribuído significativamente para o registro de informações georreferenciadas e o arquivamento do histórico de inspeções e intervenções realizadas em estruturas ao longo de seu ciclo de vida. Essa abordagem possibilita o acompanhamento da condição estrutural e dos processos de deterioração de forma mais precisa e sistemática. Segundo Chan et al. (2016), o uso do BIM aliado aos avanços nas tecnologias de computação e imagem viabiliza a detecção automatizada de defeitos, como fissuras, trincas e corrosão, por meio do reconhecimento de texturas nas superfícies inspecionadas.

Além de auxiliar o BrIM na representação do estado atual das estruturas e na identificação de anomalias, o processo também contribui para a quantificação desses danos. Segundo McGuire et al. (2016), foi desenvolvido o Bridge Information Modeling for Inspection and Evaluation (BIEM), um sistema criado a partir de um plug-in para o software Revit, denominado Damage Location Tool (DLT). Com essa ferramenta, é possível modelar patologias diretamente na estrutura utilizando paralelepípedos paramétricos que representam o volume e a gravidade das anomalias. Essa abordagem permite não apenas a quantificação dos

danos, mas também sua visualização gráfica, facilitando a interpretação das áreas comprometidas da estrutura.

5 METODOLOGIA

5.1 Características da estrutura

A obra de arte estudada, uma passarela, transpõe a rodovia BR-104, localizada em frente ao campus da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em Maceió. A estrutura possui um sistema construtivo em concreto armado, conforme ilustrado na Figura 29.

A passarela é composta por um tabuleiro, duas vigas longitudinais em formato "T", três transversinas portantes no trecho estaiado, três rampas de acesso (cada uma com cinco pilares) e um trecho central estaiado com seis pilares de seção retangular. Além disso, a estrutura conta com aparelhos de apoio de Neoprene Fretado, juntas de dilatação elastoméricas, pavimento em concreto, sistema de sinalização, operação e drenagem.

Figura 29 – Vista lateral da passarela



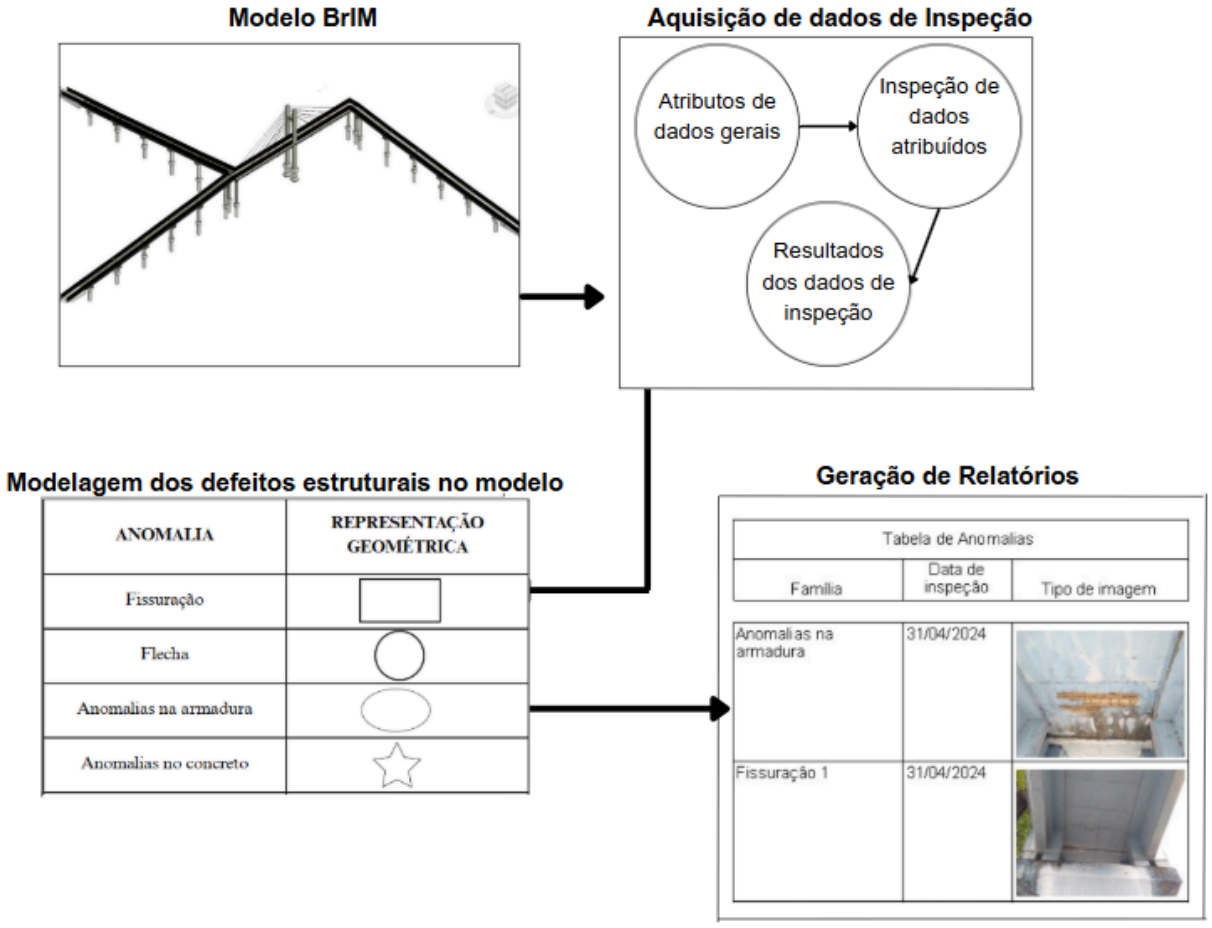
Fonte: Autor (2025)

A passarela possui 43,42 metros de extensão no trecho central estaiado e 3,30 metros de largura, enquanto as rampas têm aproximadamente 65 metros de extensão. A obra foi finalizada em 21 de dezembro de 2001 pela Construtora Jole LTDA e supervisionada pelo órgão vigente na época, o DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem).

5.2 Procedimentos e Etapas do Trabalho

A metodologia do presente trabalho é baseada em quatro módulos de etapas de pesquisa para inspeção, avaliação de manutenção e gerenciamento de OAEs, sendo eles: (1) conversão de desenhos 2D em um modelo BrIM 3D existente, (2) aquisição de dados de inspeção, (3) modelagem dos defeitos estruturais no modelo BrIM existente e (4) geração de relatórios, conforme demonstrado na Figura 30 e explicado nos parágrafos seguintes.

Figura 30 – Fluxo de trabalho da metodologia de pesquisa



Fonte: Autor (2025)

Conforme ilustrado na Figura 28, o primeiro módulo envolve a conversão dos desenhos bidimensionais (2D) da OAE. Neste trabalho, será utilizada a passarela estaiada que dá acesso à Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e ao Hospital Universitário (HU). Essa conversão resultará em uma representação tridimensional (3D) detalhada, refletindo

informações precisas sobre as dimensões, os materiais e os atributos geométricos da passarela. Na Figura 31, é possível visualizar a passarela real que está sendo estudada.

Figura 31 – Passarela estudada localizada na BR-104 em Maceió-AL

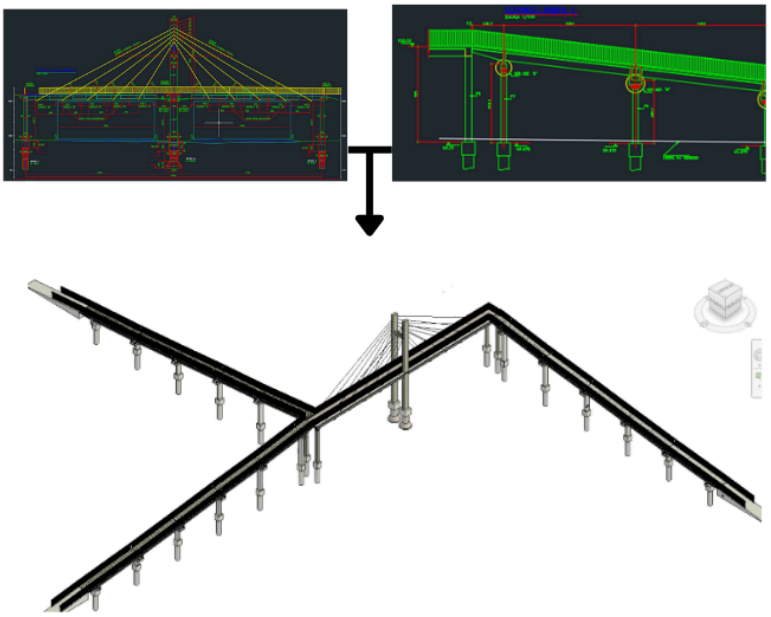


Fonte: Google Maps, 2024.

5.3 Convertendo desenhos 2D em modelo BrIM 3D

Nesta etapa, a plataforma BIM, utilizando o software Revit versão 2023, converte de forma eficiente os desenhos bidimensionais (2D) da OAE em modelos tridimensionais (3D) detalhados, incorporando informações completas sobre as dimensões, os materiais e as propriedades geométricas da passarela. A Figura 32 apresenta uma representação visual dos passos sequenciais executados durante este processo. A conversão inclui a criação de diferentes elementos da OAE, como vigas, colunas e fundações, representados no ambiente tridimensional (3D).

Figura 32 – Procedimentos de criação do modelo 3D BrIM

Etapa 1: **Definido os elementos da Passarela**	**Etapa 2:** **Conversão dos desenhos 2D em modelo 3D BrIM**
• Analise da arquitetura e dos desenhos estruturais da passarela. • Verificação do nível de detalhe necessário para desenvolver o estudo. **Superestrutura** • Lajes (tabuleiro) • Vigas (principais e secundárias) **Infraestrutura** • Pilares • Encontros • Fundações	Conversão do desenho 2D do AutoCad para o Software Revit. 

Fonte: Autor (2025)

5.4 Aquisição de dados de inspeção

Durante a inspeção da Obra de Arte Especial (OAE), o relatório abrangente elaborado pelo inspetor deve incluir todos os detalhes relevantes que retratam a atualidade dos diversos elementos da estrutura. Este processo envolve a identificação e documentação minuciosa de quaisquer deficiências existentes, bem como uma avaliação cuidadosa da condição dos elementos inspecionados, utilizando um sistema de classificação adequado. A Norma ABNT NBR 9452 fornece todos os procedimentos necessários para a inspeção e classificação de uma OAE. Neste trabalho, será realizada a inspeção cadastral da passarela vinculada à Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

A inspeção deve apresentar resultados e descobertas relacionadas à usabilidade da estrutura, divididas em três partes:

Parte I - Cadastro: Esta seção é responsável pela coleta e organização de todas as informações iniciais sobre a estrutura. Inclui dados como a localização, características físicas,

materiais utilizados, dimensões e outros aspectos fundamentais da passarela. A precisão nesta fase é crucial, pois serve como base para todas as análises subsequentes.

Parte II - Registro de Anomalias: Nesta etapa, o foco é identificar e documentar todas as anomalias ou defeitos presentes na estrutura. Isso pode incluir fissuras, corrosão, desgastes, deformações, entre outros problemas que podem comprometer a integridade e a segurança da passarela. Cada anomalia é registrada com detalhes específicos, como a localização no modelo digital, visando facilitar a análise e a priorização de ações corretivas necessárias.

Parte III - Classificação da OAE: Com base nas informações arquivadas nas partes anteriores, esta seção visa observar o estado geral da passarela. Utilizando um sistema de pontuação ou categorização, são atribuídas notas que refletem a segurança, funcionalidade e durabilidade da estrutura, bem como a necessidade de manutenção. Essa avaliação é fundamental para a tomada de decisões informadas sobre intervenções necessárias, sejam elas de manutenção, reparo ou mesmo substituição.

Essas etapas designam uma análise completa e sistemática da passarela, proporcionando uma base sólida para ações futuras que visem garantir sua durabilidade e segurança.

5.5 Modelagem dos defeitos estruturais no modelo BrIM

Um fator essencial que impacta a qualidade do relatório de inspeção e frequentemente leva à perda de informações é o hábito de registrar defeitos estruturais apenas por meio de descrições textuais, enquanto as fotografias são tiradas separadamente com uma câmera. Essa prática pode gerar uma desconexão entre as descrições escritas e as imagens correspondentes, dificultando a correlação precisa entre os dados e prejudicando a compreensão completa das condições da estrutura.

Além disso, o acúmulo de grandes quantidades de dados durante a inspeção pode levar a confusões e tornar a organização sistemática dessas informações um desafio. A falta de uma abordagem integrada e estruturada para a coleta e armazenamento de dados pode resultar em inconsistências e dificultar o acesso eficiente às informações necessárias para a avaliação precisa da OAE. É crucial que os métodos de inspeção adotem tecnologias e procedimentos que facilitem a integração de todos os dados coletados, promovendo uma análise mais eficiente e detalhada da estrutura inspecionada.

Portanto, a abordagem proposta prioriza uma descrição precisa e detalhada dos defeitos identificados durante o processo de inspeção dentro do modelo BrIM as-is. O BrIM as-is (Bridge Information Modeling no estado atual) é uma extensão do conceito de BIM (Building Information Modeling), aplicado especificamente a obras de infraestrutura, como pontes, viadutos e passarelas (EASTMAN et al., 2011).

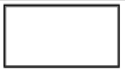
O termo "as-is" refere-se à representação digital da estrutura em sua condição atual, ou seja, com todas as suas características, defeitos, anomalias e estado de conservação no momento da inspeção ou avaliação (JUNG; KANG, 2015). Essa abordagem permite criar um modelo fiel da estrutura real, integrando dados geométricos, informações sobre anomalias, detalhes de inspeção e o estado de conservação (NCHRP, 2011).

O BrIM as-is inclui informações detalhadas, como dimensões e configurações da estrutura, registros de trincas, fissuras, corrosão e deformações, além de relatórios técnicos e avaliações de inspeção (ABNT NBR 9452:2019). Esses dados são essenciais para classificar o estado da estrutura com base em critérios de segurança, funcionalidade e durabilidade (AASHTO, 2013). Além disso, o modelo serve como uma ferramenta valiosa para a gestão de manutenção, facilitando a identificação de problemas e o planejamento de intervenções necessárias (SMITH; TARDIF, 2009).

A aplicação do BrIM as-is é fundamental para a tomada de decisões informadas, permitindo que engenheiros e gestores priorizem ações corretivas com base em dados precisos e atualizados (LIU; AKINCI, 2009). Ele também funciona como um registro histórico das condições da estrutura, contribuindo para a documentação técnica e o monitoramento contínuo da obra. Dessa forma, o BrIM as-is torna-se um recurso indispensável para garantir a segurança, prolongar a vida útil e otimizar a gestão de obras de arte especiais (OAEs).

Esta representação geométrica 3D não apenas identifica o tipo de anomalia e sua localização, mas também é vinculada a uma imagem real da irregularidade encontrada na estrutura. Na Tabela 4, estão representadas as formas geométricas usadas para identificar as anomalias e o que cada forma representa.

Tabela 4 – Representação Geométricas 3D dos tipos de irregularidades

ANOMALIA	REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA
Fissuração	
Flecha	
Anomalias na armadura	
Anomalias no concreto	
Apoio (mesoestrutura)	
Aparelho de apoio	
Juntas	
Encontros	
Outros	

Fonte: Autor (2025)

Para caracterizar a identificação do tipo de anomalia e sua severidade, foram adotadas cores correspondentes à classificação da condição da OAE. As cores utilizadas foram: vermelho para condição emergencial, laranja para condição crítica, roxo para condição ruim, azul para condição regular, amarelo para condição boa e verde para condição excelente. Esse sistema de codificação por cores facilita a análise e a priorização dos elementos que apresentam algum tipo de anomalia, tornando o processo de avaliação mais visual, intuitivo e eficiente. A Tabela 5 apresenta essa esquematização de forma clara, permitindo uma compreensão rápida do estado geral da estrutura.

Tabela 5 – Esquema de Classificação das Condições das OAEs com Códigos de Cores para Identificação de Anomalias

Classificação da condição da OAE		
Código de cores	**Classificação** Nota	**Condição**
	0	Emergencial
	1	Critica
	2	Ruim
	3	Regular
	4	Boa
	5	Excelente

Fonte: Autor (2025)

5.6 Geração de relatórios

O ponto culminante da abordagem proposta é o processo de geração de relatórios, que representa a fase final. Esta etapa essencial inclui relatórios detalhados, baseados nas informações e dados completamente registrados no modelo BrIM as-is durante a inspeção. Diferentemente dos métodos tradicionais, as autoridades responsáveis pela manutenção e inspeção da OAE têm acesso irrestrito ao modelo BrIM, permitindo a geração de diversos tipos de relatórios sem a necessidade de criar relatórios manuais ou digitais. Como resultado, a tarefa de geração de relatórios é simplificada, eliminando o risco de perda ou confusão de informações.

6 RESULTADOS

Durante a inspeção da passarela, foram avaliadas as três rampas de acesso e a parte central estaiada. Além disso, foram realizados registros fotográficos das anomalias identificadas, os quais foram integrados ao modelo digital 3D para uma documentação detalhada e análise posterior.

Nas Figuras 33 e 34, é possível visualizar as principais anomalias encontradas, como fissuras, corrosão das armaduras e desplacamento do concreto, que foram documentadas para futura análise e planejamento de intervenções.

Figura 33 – Anomalias encontradas na rampa 1





Fonte: Autor (2025)

Figura 34 – Anomalias encontradas na rampa 2



Fonte: Autor (2025)

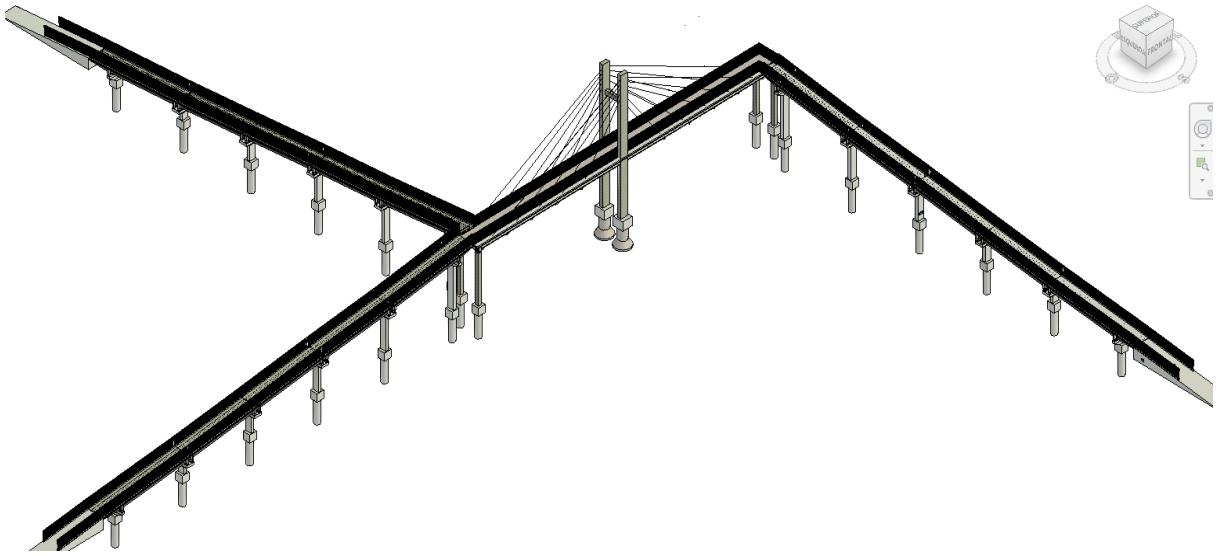
Durante o processo de inspeção e modelagem da passarela estudada, foram identificadas diversas manifestações patológicas que comprometem a integridade e a durabilidade da estrutura. As principais anomalias observadas incluem: desgaste superficial do concreto, exposição de armaduras, fissuras e trincas no pavimento de concreto, fissuração e desagregação na região da junta de dilatação, infiltrações ativas, desplacamento, degradação superficial por carbonatação, manchas associadas à lixiviação e sinais de corrosão ativa nas armaduras. Essas ocorrências foram registradas e representadas no modelo digital, servindo de base para a análise de severidade e priorização de intervenções de manutenção.

Seguindo os procedimentos descritos na metodologia, foi possível desenvolver um modelo digital 3D da passarela estudada, incorporando todas as informações obtidas

durante a inspeção. Esse modelo, criado com base na metodologia BrIM (Bridge Information Modeling), permite uma representação fiel do estado atual da estrutura, incluindo detalhes sobre fissuras, corrosão, deformações e outras anomalias identificadas.

Na Figura 35, é possível visualizar o modelo 3D gerado, que servirá como ferramenta principal para a análise e gestão das informações relacionadas à passarela. O modelo não apenas facilita a identificação e o monitoramento de patologias, mas também auxilia no planejamento de intervenções de manutenção e reparo, contribuindo para a preservação da segurança e da durabilidade da estrutura.

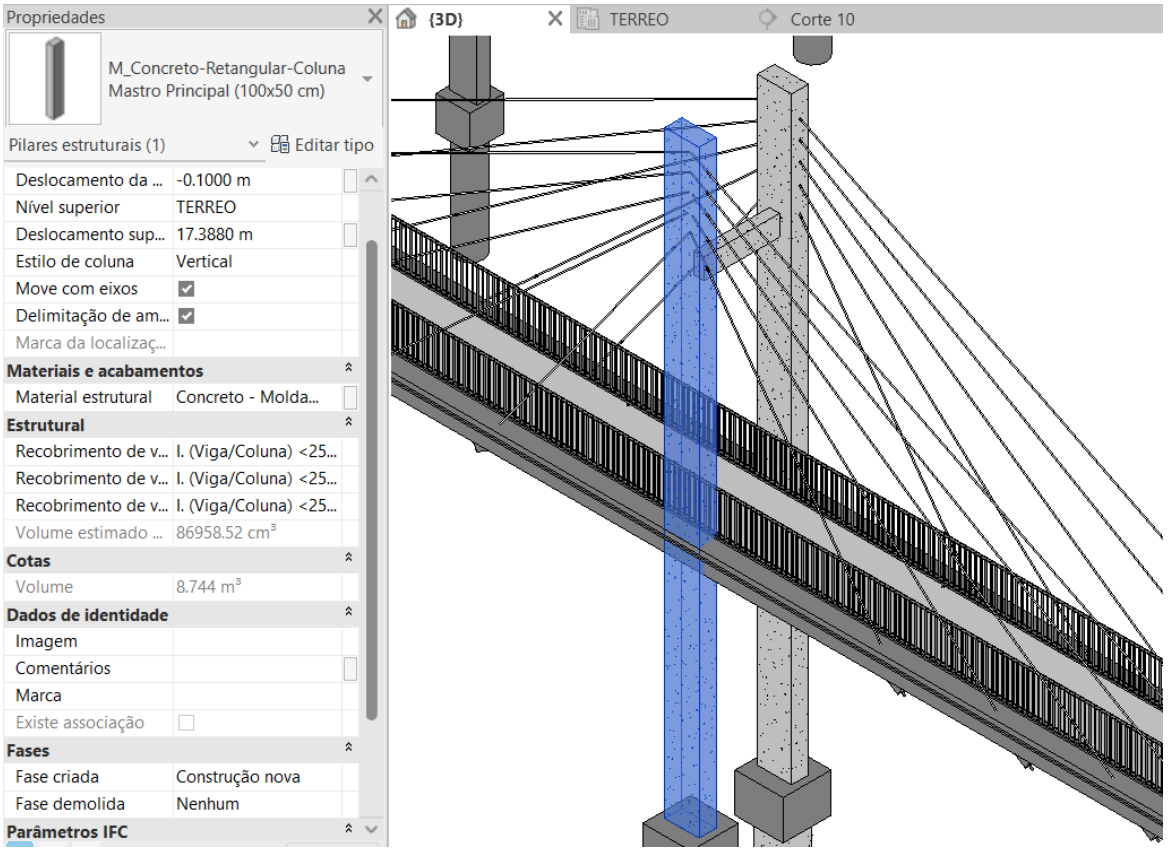
Figura 35 – Modelo digital 3D da passarela para análise e gestão de informações de inspeção



Fonte: Autor (2025)

Além da visualização apresentada na figura anterior, o modelo digital permite o acesso a diversas outras informações relacionadas a cada elemento estrutural. A Figura 36 exemplifica essa funcionalidade ao apresentar o mastro central da passarela, onde é possível visualizar dados como dimensões, material utilizado, volume e outras propriedades específicas. Essa integração de dados é uma das principais vantagens do uso da metodologia BrIM, que permite centralizar e organizar informações relevantes diretamente associadas ao modelo tridimensional da estrutura. Com isso, o BrIM contribui não apenas para uma melhor compreensão da geometria da obra, mas também para a tomada de decisões mais informadas em processos de inspeção, manutenção e gerenciamento da infraestrutura.

Figura 36 – Exemplo de acesso a informações integradas no modelo BrIM

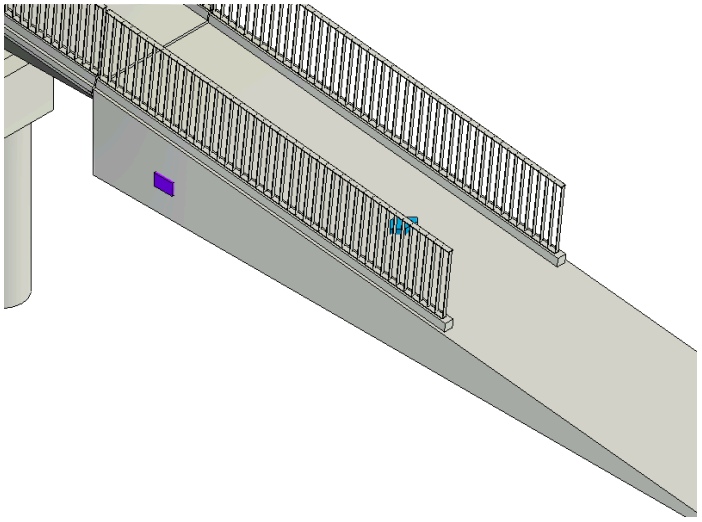


Fonte: Autor (2025)

Conforme apresentado na metodologia, foram modeladas figuras geométricas com o objetivo de representar visualmente as anomalias identificadas na passarela. Cada forma geométrica foi associada a um tipo específico de manifestação patológica, enquanto as cores atribuídas a essas figuras correspondem à classificação da severidade da anomalia, conforme a escala previamente definida. As Figuras 37 e 38 ilustram os resultados obtidos por meio dessa modelagem, permitindo a visualização clara dos elementos que compõem a estrutura da passarela.

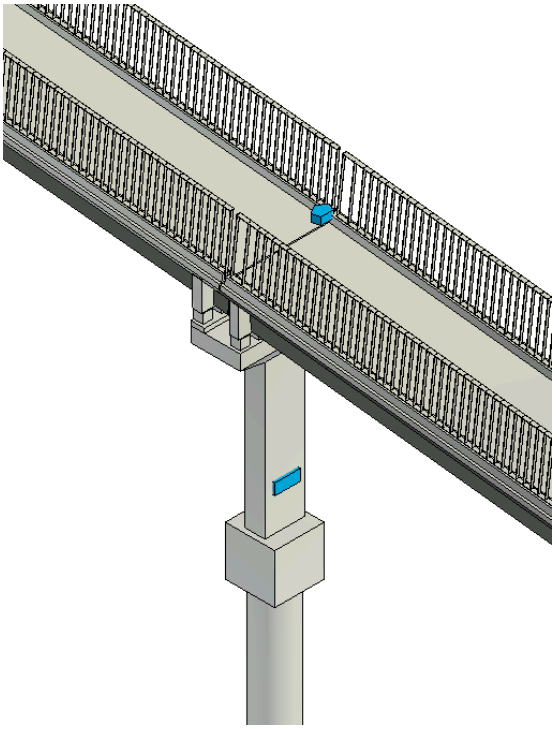
Nessa representação, observa-se a aplicação prática da metodologia BrIM, na qual cada componente modelado contém informações detalhadas e organizadas, como código de identificação, tipo de elemento estrutural e dados específicos sobre a anomalia correspondente. Essa abordagem contribui significativamente para a análise, interpretação e priorização das ações de manutenção, além de favorecer uma gestão mais eficiente da infraestrutura.

Figura 37 – Representação geométrica das anomalias no modelo BrIM



Fonte: Autor (2025)

Figura 38 – Representação geométrica das anomalias no modelo BrIM



Fonte: Autor (2025)

Dessa forma, além de identificar o tipo de anomalia presente e sua respectiva classificação, o modelo também permite a visualização precisa da localização dessa anomalia na estrutura real, facilitando o planejamento e a execução das ações corretivas.

Dentro do modelo digital, também é possível criar e gerenciar tabelas relacionadas ao processo de inspeção, permitindo a inserção de informações específicas sobre as anomalias

identificadas. Além disso, o sistema possibilita o registro de dados complementares, como a data de realização da manutenção, custos estimados ou executados, recomendações técnicas, entre outras informações relevantes para o gerenciamento da estrutura. A Figura 39 ilustra um exemplo dessa tabela, destacando os campos preenchidos com dados obtidos durante a inspeção e análise da passarela.

Figura 39 – Tabela de gerenciamento de inspeção e manutenção integrada ao modelo BrIM

A	B	C	D
Família	Data de inspeção	Tipo de imagem	Data de Manutenção
Fissuração 4	21/04/2025	Fissuração pilar.jpeg	00/00/0000
Outros	31/04/2024	outros.jpeg	
Junta	31/04/2024	Junta.jpeg	
Anomalia na armadura 2	31/04/2024	Anomalia na armadura 2.jpeg	
Anomalia na armadura	31/04/2024	Anomalia na armadura 3.jpeg	
Fissuração 3	31/04/2024	Fissuração 3.jpeg	
Fissuração 2	31/04/2024	Fissuração 2.jpeg	
Fissuração 1	31/04/2024	Fissuração.jpeg	
Anomalias na armadura	31/04/2024	Anomalia na armadura.jpeg	

E	F	G	H	
Expecificação da anomalia	Recomendações	Classificação	Material estrutural	Códig
Fissuração (0,02cm) pilar 03 da Rampa 1	Recomendado procurar um especializado par	Regular		ESTP
Fissuras e trincas no pavimento de concreto	Realize uma avaliação completa para determi	Regular		PAVC
Fissuração e Desagregação do Concreto na J	Aplicar produto anticorrosivo e recompor o co	Regular		JUNTI
Desgaste do concreto nas superfícies interna	Pode ser necessário fazer um levantamento	Regular		JUNTI
Início de degradação superficial do concreto; I	Avaliar profundidade e se houve corrosão inte	Regular		PREL
Desplacamento do cobrimento de concreto; F	Todas as áreas de concreto solto ou desagre	Ruim		RANP
Desagregação do concreto na base; Presenç	Recomenda-se a realização de ensaio não d	Ruim		RANP
Fissuração superficial na Pré-lage; Início de c	Realizar ensaios de carbonatação, extração	Regular		PREL
Desplacamento severo do concreto de cobrim	Realizar ensaio de carbonatação, mapeamen	Regular		LAGE

Fonte: Autor (2025)

Ao final das etapas de concepção, recomendação e parametrização do modelo digital, é possível gerar relatórios completos referentes à inspeção e identificação de anomalias. Esses relatórios reúnem de forma detalhada e organizada todas as informações inseridas durante o processo, incluindo dados técnicos dos elementos operacionais, classificações de severidade, localização das anomalias e, ainda, o registro fotográfico de cada ocorrência identificada na passagem. A Figura 40 ilustra um exemplo desse relatório, contendo todas essas informações integradas diretamente ao modelo digital.

Figura 40 – Relatório de inspeção e anomalias geradas a partir do modelo digital

Tabela de Anomalias									
Família	Data de inspeção	Tipo de imagem	Data de Manutenção	Expecificação da anomalia	Recomendações	Classificação	Material estrutural	Código Elemento estrutural	Custo de Manuteção
Fissuração 4	21/04/2025		00/00/0000	Fissuração (0,02cm) pilar 03 da Rampa 1	Recomendado procurar um especializado para avaliar a situação e propor as soluções mais adequadas.	Regular		ESTPASS_R1P03	
Outros	31/04/2024			Fissuras e trincas no pavimento de concreto	Realize uma avaliação completa para determinar a extensão e profundidade das fissuras.	Regular		PAVCON_R1	
Junta	31/04/2024			Fissuração e Desagregação do Concreto na Junta de Dilatação.	Aplicar produto anticorrosivo e recompor o concreto com argamassa reparadora específica.	Regular		JUNTDIL_R1	

Anomalia na armadura 2	31/04/2024			Desgaste do concreto nas superfícies internas	Pode ser necessário fazer um levantamento da movimentação real entre os elementos	Regular		JUNTDIL_ER1	
Anomalia na armadura	31/04/2024			Início de degradação superficial do concreto; Infiltração ativa	Avaliar profundidade e se houve corrosão interna das armaduras.	Regular		PRELA_R1	
Fissuração 3	31/04/2024			Desplacamento do cobrimento de concreto; Fissuração generalizada; Infiltração e presença de umidade	Todas as áreas de concreto solto ou desagregado devem ser removidas até atingir material íntegro; Recompor o concreto perdido com argamassa especial para reparo estrutural, garantindo a aderência e a proteção adequada das armaduras.	Ruim		RANPEST_R1	
Fissuração 2	31/04/2024			Desagregação do concreto na base; Presença de umidade e manchas	Recomenda-se a realização de ensaio não destrutivo (como ultrassom ou esclerometria) e sondagem para avaliar a profundidade da fissura e o estado interno da estrutura.	Ruim		RANPEST1_R1	

Fissuração 2	31/04/2024			Desagregação do concreto na base; Presença de umidade e manchas	Recomenda-se a realização de ensaio não destrutivo (como ultrassom ou esclerometria) e sondagem para avaliar a profundidade da fissura e o estado interno da estrutura.	Ruim		RANPEST1_R1	
Fissuração 1	31/04/2024			Fissuração superficial na Pré-lage; Início de corrosão nas bordas metálicas	Realizar ensaios de carbonatação, extração de testemunhos e ensaios de permeabilidade para determinar o nível de degradação.	Regular		PRELAG_R1	
Anomalias na armadura	31/04/2024			Desplacamento severo do concreto de cobrimento; Corrosão ativa nas armaduras; Fissuração secundária	Realizar ensaio de carbonatação, mapeamento de potencial de corrosão e extração de amostras para análise.	Regular		LAGEST_R1	

Fonte: Autor (2025)

6.1 Discussão dos Resultados

A aplicação da metodologia BrIM na passarela localizada na BR-104, em frente à UFAL, permitiu uma visualização rica e precisa das manifestações patológicas presentes na estrutura. O processo de inspeção e modelagem revelou diversas anomalias críticas, como desplacamento do concreto, fissuras, trincas, corrosão de armaduras, infiltrações e degradação superficial, que foram classificadas com base em sua severidade. O uso do modelo digital 3D possibilitou a integração de dados gráficos e não gráficos, facilitando uma análise técnica mais robusta das condições da estrutura

Essa representação tridimensional, associada a códigos de cores e formas geométricas, proporcionou não apenas uma documentação clara das manifestações patológicas, mas também uma priorização objetiva das ações de manutenção. Por exemplo, anomalias em regiões como as juntas de dilatação e nos aparelhos de apoio das longarinas foram destacadas com severidade elevada, indicando risco potencial à funcionalidade da estrutura. Tais registros demonstram que a passarela apresenta pontos de vulnerabilidade estrutural que, se não forem tratados, podem comprometer sua durabilidade e segurança.

Outro ponto relevante foi a capacidade do modelo BrIM de centralizar informações críticas como datas de inspeção, localização das anomalias, recomendações técnicas e até custos estimados em um único ambiente. Essa centralização é um diferencial em relação aos métodos tradicionais de documentação, que tendem a ser fragmentados e menos interativos.

Além disso, o modelo permitiu uma análise comparativa entre diferentes setores da passarela, evidenciando que as rampas apresentaram maior incidência de manifestações do que o trecho estaiado central. Essa observação sugere que as condições de uso, exposição a intempéries e possível recalque diferencial contribuíram significativamente para o estado atual da estrutura.

A utilização do BrIM também se mostrou eficaz como ferramenta de comunicação entre diferentes agentes envolvidos na manutenção. O modelo possibilita que engenheiros, gestores e tomadores de decisão tenham uma compreensão comum sobre a real condição da estrutura, otimizando a priorização de recursos e intervenções.

Dessa forma, os resultados obtidos com a aplicação prática da metodologia reforçam a tese de que o BrIM é uma solução promissora para o gerenciamento de Obras de Arte Especiais, sobretudo em um cenário nacional marcado por deficiências históricas em inspeção e manutenção de infraestrutura.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo principal aplicar a metodologia BrIM (Bridge Information Modeling) no contexto de uma passarela localizada em uma rodovia federal, com a finalidade de explorar o potencial do uso de modelos digitais na inspeção, documentação e gerenciamento de manifestações patológicas em Obras de Arte Especiais (OAEs).

A partir da modelagem tridimensional paramétrica da estrutura e da inserção de dados técnicos referentes às anomalias observadas, foi possível demonstrar que a metodologia BrIM representa uma ferramenta promissora e eficaz para melhorar a qualidade da gestão de estruturas viárias. O modelo permitiu não apenas a visualização clara dos danos estruturais, mas também a organização e centralização das informações de forma acessível, favorecendo o planejamento de intervenções corretivas com maior precisão e eficiência.

Ao longo da pesquisa, observou-se que, mesmo em uma aplicação pontual, o BrIM contribuiu significativamente para reduzir as lacunas presentes nos métodos tradicionais de inspeção, que muitas vezes sofrem com a fragmentação de dados, a dificuldade de comunicação entre os agentes envolvidos e a baixa rastreabilidade das ações de manutenção.

Portanto, conclui-se que a adoção do BrIM no contexto das OAEs tem o potencial de transformar a forma como estruturas como pontes, viadutos e passarelas são monitoradas, documentadas e mantidas. Essa abordagem orientada por dados, visualmente interativa e tecnicamente estruturada pode promover uma gestão mais inteligente, sustentável e preventiva das infraestruturas públicas, além de colaborar diretamente para a redução de riscos, desperdícios e falhas operacionais.

7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Com base na aplicação realizada e nas limitações identificadas, algumas sugestões são apresentadas para o aprofundamento e a ampliação do uso da metodologia BrIM em contextos acadêmicos e profissionais:

- **Ampliação para outras tipologias de OAEs:** recomenda-se a aplicação do BrIM em diferentes tipos de estruturas, como viadutos rodoviários, pontes ferroviárias ou passarelas metálicas, a fim de verificar a adaptabilidade da metodologia a diferentes materiais, geometrias e contextos de uso.

- **Integração com tecnologias de inspeção automatizada:** a utilização de drones, scanners 3D e sensores IoT pode enriquecer o modelo BrIM com dados em tempo real e de alta precisão, ampliando o potencial diagnóstico e preditivo do sistema.
- **Desenvolvimento de bancos de dados padronizados:** a criação de bibliotecas nacionais com classificações padronizadas de manifestações patológicas, critérios de severidade e procedimentos de inspeção pode favorecer a interoperabilidade entre projetos e facilitar a consolidação do BrIM como ferramenta institucional.
- **Estudos comparativos com métodos tradicionais:** futuras pesquisas podem buscar quantificar, de forma objetiva, os ganhos de eficiência, custo e segurança proporcionados pela adoção do BrIM em comparação com metodologias convencionais de inspeção.

REFERÊNCIAS

Aguiar, J. E., 2006. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa De Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Minas Gerais, 2006.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). **Manual for Bridge Element Inspection**. 1st ed. Washington, DC: AASHTO, 2013.

AMORIM, S. R. L. **Gerenciamento e coordenação de projetos BIM: um guia de ferramentas e boas práticas para o sucesso.** 1.ed. [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

Andrade, T., & Silva, AJ da C. e. (2008). **Considerações sobre durabilidade, patologia e manutenção das estruturas**. Tecomat - Tecnologia Da Construção e Materiais Ltda , 25 , 1–14.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187: Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto.** Rio de Janeiro. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro. 2019.

AUTODESK. **BIM para Infraestrutura de Transportes Rodoviários**. 2018. Disponível em:[https://blogs.autodesk.com/mundoaec/bim-para-infraestrutura-de-transportes-rodoviarios/]. Acesso em: 04 Jul. 2024.

AUTODESK. PROJETE E CONSTRUA COM BIM: **Modelagem de Informação da Construção**. 2025. Disponível em: [https://www.autodesk.com/br/solutions/bim#:~:text=A%20BIM%20(Modelagem%20de%20Informa%C3%A7%C3%A3o,e%20o%20mundo%20da%20constru%C3%A7%C3%A3o.]. Acesso em: 08 Abr. 2025.

Becerik-Gerber, B.; Jazizadeh, F.; Li, N.; and Calis, G.. **Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management**. J Constr Eng Manag, vol. 138, no. 3, pp. 431-442, Mar. 2012, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000433

Billie F. Spencer, Vedhus Hoskere, Yasutaka Narazaki. **Advances in Computer Vision-Based Civil Infrastructure Inspection and Monitoring, Engineering**, Volume 5, Issue 2, 2019, Pages 199-222, ISSN 2095-8099, https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.030. Disponivel: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809918308130]. Acesso: 16 fev. 2025.

BOTON, Conrad & RIVEST, Louis & GHNAYA, Oussama & CHOUCHEN, Moataz. (2020). **What is at the Root of Construction 4.0: A Systematic Review of the Recent Research Effort**. Archives of Computational Methods in Engineering. 10.1007/s11831-020-09457-7.

BRASIL. **Decreto n. 9.377**, de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia de Disseminação do Building Information Modelling. Diário Oficial da União, Brasília, Edição 95, Seção 1, p. 3, mai. 2018. Atos do Poder Executivo. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Decreto/D9377.htm. Acesso em: 5 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Livreto Estratégia BIM BR**. Brasilia, DF, 2018, 36p. Disponível em:[https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/building-information-modelling-bim/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf]. Acesso em: 04 Jul. 2024

BUILDINGSMART. **Ifc Alignment**. Disponível em: < https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/IfcAlignment.htm> . Acesso em: 12 abril. 2025.

CAMARGO, Maria de Fátima Santos. **Pisos à base de cimento: caracterização, execução e patologias**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. 2010.

Cândido, T. G., Meira, G. R., & Abreu, M. S. D. de. (2020). **Avaliação do processo de corrosão em armaduras comuns e galvanizadas. Revista Principia** - Divulgação Científica e Tecnológica Do IFPB, 1(51), 148. https://doi.org/10.18265/1517-0306a2020v1n51p148-157

CARVALHO, N. M.. **Grau de maturidade em BIM: Estudos de Caso em empresas de coordenação de projetos residenciais.** 2021. 103 f. Monografia (Especialização em Gestão de Projetos na Construção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2021.

Chan, B.; Guan, H.; Hou, L.; Jo, J.; Blumenstein, M.; and Wang, J.. "Defining a conceptual framework for the integration of modelling and advanced imaging for improving the reliability and efficiency of bridge assessments," **J. Civ. Struct. Health Monit.**, vol. 6, no. 4, pp. 703-714, 2016, http://dx.doi.org/10.1007/s13349-016-0191-6.

Coan, D. R. T. do N., Souza, N. J. de, & Queiroz, A. de S. (2021). **Implantação do Building Information Modeling aos projetos de engenharia do sistema federal Brasileiro**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento, 84–110. https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/projetos-de-engenharia

Corrêa, S. L. M., Siviero, L. F., Freitas, R. de O., Corrêa, F. R., & Santos, E. T. (2019). **BIM para infraestrutura de transportes**. In II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO (Vol. 2, pp. 1–8). Antac. https://doi.org/10.46421/sbtic.v2i00.189

Costin, A.; Adibfar, A.; Hu, H.; and Chen, S. S.. **"Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure - Literature review**, applications, challenges, and recommendations," Autom. Construct., vol. 94, no. June, pp. 257-281, 2018, http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.001.

DNIT. **Conheça o Programa PROARTE**. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/infraestrutura-rodoviaria/proarte/conheca-o-programa. Acesso em: 20 maio 2025.

DNIT. **Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO).** Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/servicos/sistemas-gerenciais/sgo. Acesso em: 20 maio 2025.

DODGE DATA & ANALYTICS. **The Business Value of BIM for Infrastructure 2017**. SmartMarket Report, v. 1, n. 2017, p. 1–68, 27 set. 2017.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2nd ed. Wiley, 2011.

EN ISO 41001, BSI Standards Publication Facility management-Management systems-Requirements with guidance for use (**ISO 41001:2018**). 2018.

FELIU, S. **Principios de corrosión electroquímica y tipos de ataque**. In: FERNÁNDEZ, J. A. G. (Ed.). Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión. Madrid: CSIC, p. 10 – 44, 1984.

FERREIRA, A. R.; SILVA, A. C.; BARRETO JUNIOR, C. de L.; LIMA, D. A. C. de; SOUSA, L. C. O. **Systematic review: use of the BIM concept in projects of the electricity sector over the (Inter)National scenarios**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 6, p. e37211629144, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.29144. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/29144. Acesso em: 8 apr. 2025.

Golinhaki, S., & Munhoz, J. A. (2019). Procedimento de inspeção preventiva em estruturas de concreto armado (pp. 20–27). **UFPR - Grupo de Pesquisa em Patologia e Reabilitação das Construções.** https://doi.org/10.4322/2526-7248.025

GOMES, M.E.A.; XAVIER, T.J.B.; FRANCISCO, R.A.. **Levantamento E Cadastramento De Patologias Estruturais Utilizando Fotografias Termográficas E Drones Na Composição De Banco Geográficos.** Programa de Iniciação Científica - PIC/UniCEUB - Relatórios de Pesquisa (2018), doi:10.5102/pic.n3.2017.5774.

G1. **Cabeceira de ponte cai em Brusque e carros ficam presos.** G1, 21 abr. 2021. Disponível em: https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2021/04/21/cabeceira-de-ponte-cai-em-brusque-e-carros-ficam-presos.ghtml. Acesso em: 09 jun. 2025.

Haryanti, T.; Rakhmawati, N. A. and Subriadi, A. P.. “The Extended Digital Maturity Model,” **Big Data and Cognitive Computing**, vol. 7, no. 1, Mar. 2023, doi: 10.3390/ bdcc7010017.

HELENE, P.R.L. **Corrosão das Armaduras para Concreto Armado** .São Paulo-SP, IPT, PINI, 1986.

IPR-DNIT RP-004. **Estado da Arte em Gestão de Pontes – Sistema de gerenciamento de pontes – Módulo de Custos – Brasília** - DF, 2024. Disponivel: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/relatorios-de-pesquisa-1/ipr_rp_004_estado_da_arte_modulo_de_custos.pdf]. Acesso: 11 fev. 2025.

ISO 19650-3. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM): Information management using building information modelling. Part 3, Operational phase of the assets, 2020.

Jeon, C. H., Nguyen, D. C., Roh, G., & Shim, C. S. (2023). **Development of BrIM-Based Bridge Maintenance System for Existing Bridges. Buildings**, 13(9). https://doi.org/10.3390/buildings13092332

JUNG, Y.; KANG, S. H. Bridge Information Modeling (BrIM) and Its Integration with Structural Health Monitoring (SHM). In: **Journal of Civil Structural Health Monitoring**, v. 5, n. 4, 2015, p. 389-398.

Lima, T. G. de S., Pinheiro, E. C. N. M., & De Oliveira, R. P. (2023). Avaliação das manifestações patológicas em edificações de Manaus: Edifício Solar das Amazonas. **Brazilian Journal of Development**, 9(11), 29755–29771. https://doi.org/10.34117/bjdv9n11-030

LIU, X.; AKINCI, B. Requirements and Evaluation of Standards for Integration of Sensor Data with Building Information Models. In: **Computing in Civil Engineering**, 2009.

Mancini, G. O., & Pedreiro, M. R. de M. (2023). **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, 9(10), 1758–1771. https://doi.org/10.51891/rease.v9i10.11494

MARZOUK, M.; EL-ZAYAT, M.; ABOUSHADY A. **Assessing environmental impact indicators in road construction projects in developing countries**. Sustainability. 2017.

McGuire, B.; Atadero, R.; Clevenger, C.; and Ozbek, M.. "Bridge information modeling for inspection and evaluation," **J. Bridge Eng**., vol. 21, no. 4, pp. 04015076, 2016, http://dx.doi.org/10.1061/(asce)be.1943-5592.0000850.

Meira, G. R., & Ferreira, P. R. R. (2019). **Revisão sobre ensaios acelerados para indução da corrosão desencadeada por cloretos em concreto armado**. Ambiente Construído, 19(4), 223–248. https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000400353

MENTONE, Fernando J.. Prazo de validade vencido. **Cresce Brasil, Engenharia de Manutenção**, São Paulo, v. 1, n. 1, p.32 - 35, jun. 2019.

Mota, N. M. B., Marques, S. D., & Iahn, J. L. de O. (2022). **Da responsabilização por negligência na manutenção de edificações.** RCT - Revista de Ciência e Tecnologia, 8. https://doi.org/10.18227/2447-7028rct.v8i07212

Mohammadi, M.; Rashidi, M.; Mousavi, V.; Yu, Y.; Samali, B.. **Aplicação do Método TLS na Digitalização de Infraestruturas de Pontes: Um Caminho para o Desenvolvimento BrIM**. Remote Sens. 2022 , 14 , 1148. https://doi.org/10.3390/rs14051148

MOREIRA, Lorena Claudia de Souza; RUSCHEL, Regina Coeli. **Impacto da adoção de BIM em Facility Management: uma classificação**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 6, n. 4, p. 277-290, dez. 2015. Disponível em:

<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634982>. Acesso em: 22 fev. de 2025.

MUSTAFFA N.E., SALLEH R.M., ARIFFIN H.L.B.T. **Experiences of building information Modelling (BIM) adoption in various countries**, 2017 International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS), IEEE, 2017, pp. 1–7, https://doi.org/10.1109/ICRIIS.2017.8002508.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (NCHRP). Report 700: Guidelines for Bridge Information Modeling. **Transportation Research Board**, 2011.

NEVILLE, A.m.; BROOKS, J.j.. Tecnologia do concreto. Porto Alegre: **Bookman**, 2013.

Novaes, I. M., M1, ;, & Poznyakov, K. (2021). **Revista Boletim do Gerenciamento Patologias em Estruturas de Concreto Armado.** Revista Boletim do Gerenciamento no (Vol. 22).

OLIVEIRA, Alexandre Magno. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS9A3GCW/1/monografia_esp_2012_1_th.pdf . Acesso em: 18 jan. 2025.

OLIVEIRA, Chystianne Maria Rodrigues de. **Contribuições ao Processo de Projeto de Arquitetura no Setor Público – Um estudo de Caso.** São Paulo. 2016 .156 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) FAUUSP, 2016.

Oliveira, C., & Lima, D. P. (2022). **Manual de manutenção preventiva e corretiva em edificações.** Technology Sciences, 4(1), 12–19. https://doi.org/10.6008/cbpc2674-6425.2022.001.0002

OLIVEIRA, C. B. L., GRECO, M., & BITTENCOURT, T. N. (2019). **Analysis of the brazilian federal bridge inventory.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 12(1), 1–3. https://doi.org/10.1590/s1983-41952019000100002

Paixão, M. P.; Cordeiro, C. C. C.; Correia, M. C. N.. **Pavimentos Semirrígidos: Prevenção E Tratamento Da Reflexão De Trincas**. XVI SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica. v. 16 (2017). ISSN: 1517-2112. Disponivel em: https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/view/4949

PRETTI, Soraya Mattos. **Engenharia Simultânea em construtoras incorporadoras: uma análise de maturidade.** 2013. 246f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE – PMI. Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (**Guia PMBOK**). 616 p, 5ed. edição, p.3, 2013.

Quirino, M. A. de N. de A., Sanches, A. E., Pinheiro, É. C. N. M., & Lima, J. P. (2022). Manifestações patológicas na contrução civil: trincas, fissuras e rachaduras em residência

unifamiliar: estudo de caso. **Brazilian Journal of Development**, 8(11), 73002–73018. https://doi.org/10.34117/bjdv8n11-148

Ribeiro, T. R. P., Cipriano, A. H. S., Sousa, G. de M., & Silva, L. A. D. da. (2022). **ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO NA BR 230.** Revista Gestão e Conhecimento, 16(3), 1368–1382. https://doi.org/10.55908/rgcv16n3-020

Rios, T. de M. L., Cardoso, L. R. de A., Montelato, B., & Mognhol, T. Z. (2024). **Bridge Information Modeling (BrIM) used in the operation and maintenance of Civil Engineering Structures (CESs).** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 17(3). https://doi.org/10.1590/s1983-41952024000300004

Saju, S. **Smart Bridges Based on Bridge Information Modelling**. In Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES), Thiruvananthapuram, India, 10–12 March 2022; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Zurich, Switzerland, 2022; Volume 1, pp. 279–284.

Salomão, P. E. A., Santos, A. A. D., & Oliveira, A. N. S. (2019). **Aspectos gerais do concreto armado e os procedimentos técnicos para sua utilização**. Research, Society and Development, 8(6), e2861020. https://doi.org/10.33448/rsd-v8i6.1020

SANTOS, Eduardo Toledo. **BIM bem feito**. Revista Estrutura, São Paulo, 3 ed., ano 1, p. 64–65, 2017.

Shaw, C.; Pereira, F. A.; McNally, C.; Farghaly, K.; Hartmann, T. and O'Donnell, J.. "**Information management in the facilities domain: investigating practitioner priorities**," Facilities, Apr. 2022, doi: 10.1108/F-02-2022-0033.

Silva, M.B.M.F., & Melo, R.A.. (2021). **Condições de Pontes Rodoviárias: Cenário, Diagnóstico e Manutenção**. In XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas . Disponivel: [http://www.abpe.org.br/trabalhos2021/ID_058.pdf]. Acesso: 16 fev. 2025.

SILVA, P. C. S.; CÂMARA, M. Y. F.; VIEIRA, J. F.; SOBRINHO, B. E.; SILVA, T. E. P.; ANHAIA, C. A. A. L.; SARKIS, J. M.; JUNIOR, A. V. P.. **Ferramentas de Gerenciamento para Controle das Obras de Arte Especiais do DNIT: SGO e Monalisa**. Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, 2021. Disponível em: https://site.abece.com.br/artigos-tecnicos/ferramentas-de-gerenciamento-para-controle-das-obras-de-arte-especiais-do-dnit-sgo-e-monalisa/

Silva, M. E. de A., Da Silva, E. M., Quaresma, D. da S., Nunes, L. M. C., Passos, I. de S., Cordeiro, D. R., … Ogorodnik, M. E. A. (2022). Patologias no concreto armado em elementos de projetos estruturais: uma revisão / Pathologies in reinforced concrete in elements of structural projects: a review. **Brazilian Journal of Development**, 8(6), 43522–43539. https://doi.org/10.34117/bjdv8n6-067

SMITH, D. K.; TARDIF, M. Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers. **Wiley**, 2009.

THABET, W.; LUCAS, J.; JOHNSTON, S. **A Case Study for Improving BIM-FM Handover for a Large Educational Institution**. Construction Research Congress, p. 2177-2186, 2016.

Tutikian, B. F., Lerner, L. R., Ehrenbring, H. Z., Bolina, F. L., & Gil, A. M. (2021). **Análise das resistências ao escoamento (fy) e de ruptura (fu) residual das armaduras de pilares de concreto em altas temperaturas.** Ambiente Construído, 21(1), 51–67. https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100493

VASCONCELOS, Flávio de Oliveira. **Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado: estudo de caso.** 2018. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Unidade Delmiro Gouveia-Campus do Sertão, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2018.

VERLY, R. C. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2015, 178p.

VERLY, Rogério Calazans. Conceitos essenciais sobre patologia em estruturas de concreto. **Módulo 1: Diagnóstico**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Desenvolvimento do curso realizado no âmbito do acordo de cooperação técnica IPR/DNIT e Enap, 2022. Disponível em: https://www.escolavirtual.gov.br/curso/889. Acesso em: 18 mar. 2025.

VERLY, Rogério Calazans. Conceitos essenciais sobre patologia em estruturas de concreto. **Módulo 4: Causas químicas.** Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Desenvolvimento do curso realizado no âmbito do acordo de cooperação técnica IPR/DNIT e Enap, 2022. Disponível em: https://www.escolavirtual.gov.br/curso/889. Acesso em: 18 mar. 2025.

VERLY, Rogério Calazans. PROARTE. **Módulo 1: Introdução - Sistemas de gerenciamento de estruturas.** Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Desenvolvimento do curso realizado no âmbito do acordo de cooperação técnica IPR/DNIT e Enap, 2022. Disponível em: https://www.escolavirtual.gov.br/curso/889. Acesso em: 05 abr. 2025.

VOUKLARI, E. et al. Geomatic data turned into BIM for the preservation of a multicultural building. **International Journal of Cultural Heritage**, v. 6, 2021.

Xavier, J. P. T., Lima, J. P., Pinheiro, É. C. N. M., & Sanches, A. E. (2022). Identificação de manifestações patológicas em marquises na região central de Manaus. **Brazilian Journal of Development**, 8(12), 77164–77178. https://doi.org/10.34117/bjdv8n12-027

WEISS, M. C. (2019). **Sensored society: the society of digital transformation. Advanced Studies**, 33(95), 203- 214. http://dx.doi.org/10.1590/s0103-4014.2019.3395.0013

Zhang, G.; Liu, Y.; Liu, J.; Lan, S.; Yang, J.. Causes and statistical characteristics of bridge failures: A review, **Journal of Traffic and Transportation Engineering** (English Edition),

Volume 9, Issue 3, 2022, Pages 388-406, ISSN 2095-7564,
https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.12.003. Acesso: 11 fev. 2025.

APÊNDICE A – RELATÓRIO TÉCNICO DE INSPEÇÃO DAS ANOMALIAS ESTRUTURAIS NA PASSARELA LOCALIZADA NA BR-104 (UFAL – MACEIÓ/AL)

Maceió - AL
2025

RELATÓRIO TÉCNICO DE INSPEÇÃO DE ENGENHARIA

Assunto: Relatório técnico

Contratante: Aline Da Silva Ramos Barboza

Localização: Em frente ao Campus A.C. Simões da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) – Maceió/AL

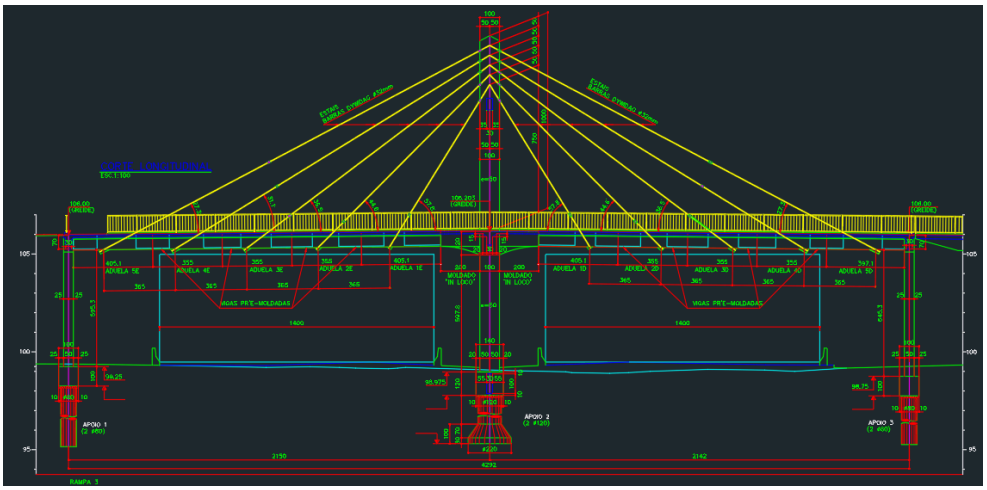
Responsáveis técnicos:
Jose Carlos Dos Santos Junior

Data de elaboração: 09/06/2025

1 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA

A obra de arte especial estudada consiste em uma passarela de pedestres em concreto armado, destinada à transposição da rodovia federal BR-104, localizada em frente ao Campus A.C. Simões da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no município de Maceió/AL. Na Figura 1, está ilustrado um corte longitudinal do trecho estaiado da passarela.

Figura 1 – Vista em Corte Longitudinal do Eixo Estaiado da Passarela sobre a BR-104



Fonte: Autor (2025)

A estrutura possui as seguintes características técnicas principais:

- **Sistema construtivo:** Concreto armado, com elementos moldados in loco.
- **Componentes estruturais principais:**
- **Tabuleiro:** Elemento de superfície responsável pela circulação dos pedestres.
- **Vigas longitudinais:** Duas vigas principais em formato “T”, que dão suporte ao tabuleiro.
- **Transversinas portantes:** Três transversinas no trecho central estaiado, que atuam na redistribuição dos esforços transversais.
- **Rampas de acesso:** Três rampas, cada uma composta por cinco pilares de apoio em concreto.
- **Trecho central estaiado:** Composto por seis pilares de seção retangular que sustentam o vão principal.
- **Apoios e juntas:**

- **Apoios:** Aparelhos de apoio em Neoprene fretado, permitindo movimentos horizontais e verticais.
- **Juntas de dilatação:** Juntas elastoméricas, projetadas para absorver variações térmicas e movimentações da estrutura.

- **Acabamento e infraestrutura:**

- **Pavimento:** Em concreto simples, próprio para tráfego de pedestres.
- **Sinalização:** Sistema de sinalização visual instalado ao longo da passarela.
- **Drenagem:** Sistema de drenagem superficial incorporado ao tabuleiro para escoamento das águas pluviais.

Trata-se de uma estrutura com relevante função de acessibilidade e segurança, conectando áreas urbanas separadas pela rodovia federal. Sua tipologia estaiada no trecho central exige cuidados específicos quanto à integridade das ligações e ao desempenho estrutural sob ações dinâmicas, ambientais e de longo prazo.

2 OBJETIVO DO RELATÓRIO

Documentar as manifestações patológicas encontradas durante a inspeção da passarela, com base na metodologia BrIM adotada neste trabalho de conclusão de curso, com finalidade de diagnóstico e apoio à tomada de decisão para futuras manutenções.

3 METODOLOGIA DE INSPEÇÃO

A inspeção foi conduzida com base nos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 9452:2019, sendo classificada como inspeção cadastral. Foram realizadas as seguintes etapas:

- Registro fotográfico das anomalias;
- Modelagem tridimensional BrIM com integração das anomalias;
- Classificação da severidade com codificação por cores.

4 ANOMALIAS IDENTIFICADAS

Quadro 1

<table>
<tr><td colspan="2">Ambiente: Rampa 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>Manifestações patológicas: Desplacamento do cobrimento; manchas de umidade; corrosão das armaduras.</td></tr>
<tr><td>Diagnóstico: Foi identificado desplacamento do cobrimento da viga de concreto armado, com exposição da armadura corroída. A área afetada apresenta também sinais de infiltração e manchas de umidade, com perda de material e deterioração do concreto.</td></tr>
</table>

Descrição da Manifestação Patológica

O desplacamento do concreto é uma anomalia patológica que pode comprometer significativamente a usabilidade e a durabilidade das estruturas. Isso ocorre porque o destacamento das camadas superficiais do concreto expõe as armaduras à ação de agentes agressivos, acelerando processos de corrosão e degradação. Segundo Tutikian et al. (2021), o desplacamento, caracterizado pelo desprendimento parcial ou total da camada superficial do concreto, afeta diretamente a integridade estrutural, reduzindo a vida útil da obra e potencializando a necessidade de intervenções corretivas.

Quadro 2

Ambiente: Rampa 1

	**Manifestações patológicas:** Desplacamento do cobrimento; manchas de umidade; infiltração.
	Diagnóstico: A presença de infiltrações, manchas de umidade e descascamento do concreto pode estar diretamente relacionada à perda de eficiência do sistema de drenagem da estrutura. Esses sinais indicam que a água não está sendo devidamente escoada, favorecendo a penetração nos elementos estruturais e contribuindo para o surgimento de manifestações patológicas.

Descrição da Manifestação Patológica

A infiltração em elementos estruturais pode gerar sérios problemas, uma vez que as águas provenientes das chuvas podem estar carregadas de diversos agentes agressivos e nocivos à durabilidade do concreto. Segundo Mancini & Pedreiro (2023), as manifestações patológicas podem acarretar falhas significativas na estrutura, sendo necessário adotar medidas corretivas adequadas para mitigar seus efeitos e restaurar as condições de desempenho da edificação.

Quadro 3

Ambiente: Rampa 1	
	**Manifestações patológicas:** Manchas de umidade; fissuração.
	Diagnóstico: Tais manifestações indicam falhas no sistema de drenagem, permitindo a entrada constante de água na estrutura. A presença de umidade favorece processos de carbonatação e pode intensificar a corrosão das armaduras, mesmo que ainda não estejam visivelmente expostas.

Descrição da Manifestação Patológica

A imagem no quadro 3 evidencia uma fissura vertical de grande extensão no pilar de apoio, com sinais de manchas de umidade e desagregação superficial do concreto. Também há indícios de eflorescência (camada esbranquiçada) e possível início de biodegradação em pontos de umidade persistente.

Quadro 4

<table>
<tr><td colspan="2">Ambiente: Rampa 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>Manifestações patológicas: Fissuração na base do pilar.</td></tr>
<tr><td>Diagnóstico: A presença de fissuração horizontal na base do pilar pode estar relacionada a movimentações diferenciais da fundação, variações térmicas ou esforços concentrados mal distribuídos. Esse tipo de manifestação favorece a entrada de umidade nos elementos estruturais, especialmente na região de contato com o solo, contribuindo para processos de degradação como a carbonatação e a corrosão das armaduras.</td></tr>
</table>

Descrição da Manifestação Patológica

Na base do pilar, observa-se uma fissura com orientação predominantemente horizontal, localizada próxima à interface com o solo. A manifestação apresenta extensão visível e sinais de abertura ao longo do plano fissurado. Segundo Mancini & Pedreiro (2023), a localização e a direção das fissuras constituem informações fundamentais para a análise estrutural, sendo determinantes na avaliação da usabilidade e do desempenho da estrutura ao longo do tempo.

Quadro 5

Ambiente: Rampa 1	
	**Manifestações patológicas:** Fissuração.
	Diagnóstico: A presença de fissuração na pré-laje da rampa pode estar associada a variações nas condições de apoio, à atuação de cargas repetidas ou à movimentação dos elementos estruturais ao longo do tempo.

Descrição da Manifestação Patológica

Durante a inspeção visual da passarela, foram observadas fissuras superficiais na pré-laje da rampa, caracterizadas por trincas finas, predominantemente longitudinais, com extensão variável. Essas fissuras são provavelmente resultado de esforços de flexão, retração do concreto e carregamentos repetitivos ocasionados pelo tráfego de pedestres. Segundo Novais & Poznyakov (2021), as fissuras são aberturas que surgem nas estruturas de concreto armado e podem variar em gravidade de acordo com o seu grau de abertura e profundidade.

Quadro 6

Ambiente: Rampa 1	
	**Manifestações patológicas:** Recalque do piso e presença de múltiplas fissuras.
	Diagnóstico: A manifestação patológica observada na rampa da passarela — caracterizada por recalque localizado do piso e presença de múltiplas fissuras — indica uma possível perda parcial de apoio ou deslocamento diferencial entre os elementos estruturais que compõem a rampa. Esse tipo de anomalia pode estar associado a falhas de execução, como má compactação do apoio secundário, junta de dilatação mal dimensionada.

Descrição da Manifestação Patológica

O recalque, ainda que localizado, provoca tensões adicionais na estrutura da rampa, resultando na formação de fissuras no revestimento. Tais fissuras, caso evoluam, podem comprometer a durabilidade da estrutura, facilitando a entrada de agentes agressivos e acelerando o processo de deterioração.

Recomenda-se a realização de inspeções complementares para avaliação da estabilidade do apoio da rampa e verificação do encaixe entre a pré-lage e os elementos vizinhos. Caso seja identificado deslocamento permanente, intervenções corretivas como reconstituição do apoio, preenchimento de vazios ou reforço localizado podem ser necessárias para restabelecer o desempenho estrutural adequado.

Quadro 7

<table>
<tr><td colspan="2">Ambiente: Rampa 2</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>Manifestações patológicas: Desplacamento do cobrimento de concreto e armadura exposta.</td></tr>
<tr><td>Diagnóstico: O deslocamento indica que o concreto perdeu aderência à armadura, reduzindo a capacidade de proteção e transferência de esforços.</td></tr>
</table>

Descrição da Manifestação Patológica

A exposição direta da armadura ao ambiente acelera significativamente o processo de corrosão, com potencial comprometimento da resistência e da durabilidade da estrutura, especialmente em elementos submetidos a esforços constantes ou em ambientes externos.

Quadro 8

Ambiente: Rampa 2

	**Manifestações patológicas:** Desplacamento do cobrimento de concreto e armadura exposta.
	Diagnóstico: O deslocamento indica que o concreto perdeu aderência à armadura, reduzindo a capacidade de proteção e transferência de esforços.

Descrição da Manifestação Patológica

Foram identificadas manifestações patológicas na região do aparelho de apoio da longarina sobre o pilar, caracterizadas por desplacamento do cobrimento de concreto e exposição das armaduras. O desplacamento ocorre principalmente nas superfícies adjacentes ao apoio, onde se concentram tensões de contato e transferência de carga entre os elementos estruturais.

É importante destacar que a ocorrência dessas manifestações em uma zona de apoio estrutural pode afetar diretamente a capacidade de transferência de esforços entre a longarina e o pilar, com risco de perda de aderência, recalques diferenciais localizados e redução da vida útil da estrutura.

Quadro 9

Ambiente: Rampa 2

	**Manifestações patológicas:** Desplacamento do cobrimento; manchas de umidade; corrosão das armaduras.
	Diagnóstico: Foi identificado desplacamento do cobrimento da viga de concreto armado, com exposição da armadura corroída. A área afetada apresenta também sinais de infiltração e manchas de umidade, com perda de material e deterioração do concreto.

5 CONCLUSÃO

A inspeção técnica realizada na passarela localizada sobre a BR-104, em frente ao Campus A.C. Simões da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), permitiu a identificação de diversas manifestações patológicas ao longo das rampas de acesso e do trecho central estaiado. Dentre as anomalias observadas, destacam-se fissurações, desplacamentos do cobrimento de concreto, presença de manchas de umidade, infiltrações, corrosão de armaduras e recalques localizados. Tais manifestações comprometem, em diferentes graus, a durabilidade, a funcionalidade e a integridade estrutural da obra.

A utilização de ferramentas baseadas na metodologia BrIM contribuiu significativamente para o mapeamento das anomalias e para a representação tridimensional dos elementos afetados, possibilitando uma análise visual e técnica mais precisa. Ressalta-se que a maioria das manifestações identificadas pode ser agravada em função da exposição contínua a agentes agressivos, sobretudo pela ineficiência do sistema de drenagem e pela ausência de ações de manutenção preventiva.

Considerando as condições observadas, recomenda-se a adoção de medidas corretivas direcionadas, priorizando a recuperação de áreas com armaduras expostas, a vedação de pontos de infiltração e a reconstituição do cobrimento do concreto onde necessário. Além disso, a realização de inspeções complementares, com métodos mais aprofundados, se faz essencial para a verificação da extensão dos danos e para o planejamento de intervenções adequadas à preservação da estrutura e à segurança dos usuários.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro. 2019.

Mancini, G. O., & Pedreiro, M. R. de M. (2023). **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, 9(10), 1758–1771. https://doi.org/10.51891/rease.v9i10.11494

Novaes, I. M., M1, ;, & Poznyakov, K. (2021). **Revista Boletim do Gerenciamento Patologias em Estruturas de Concreto Armado.** Revista Boletim do Gerenciamento no (Vol. 22).

Tutikian, B. F., Lerner, L. R., Ehrenbring, H. Z., Bolina, F. L., & Gil, A. M. (2021). **Análise das resistências ao escoamento (fy) e de ruptura (fu) residual das armaduras de pilares 84 de concreto em altas temperaturas.** Ambiente Construído, 21(1), 51–67. https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100493