



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Engenharia Civil de Infraestrutura

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

CRISTIAN ALEJANDRO BULLA RIVERA

Foz do Iguaçu, PR
Março de 2025



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Engenharia Civil de Infraestrutura

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

CRISTIAN ALEJANDRO BULLA RIVERA

Plano de Trabalho apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Junges

Foz do Iguaçu, PR
Março de 2025

CRISTIAN ALEJANDRO BULLA RIVERA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DA
DEGRADAÇÃO EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Paulo Junges
Universidade Federal da Integração Latino-Americana

Prof. Dr. Aref Kalilo Lima Kzam
UNILA

Prof. Dr. Edna Possan
UNILA

Foz do Iguaçu, 11 de março de 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que, com seu infinito amor, me sustentou, cuidou de mim e me abençoou em todos os momentos. Foi Ele quem abriu portas no meu caminho e fechou outras, pois sabia que não me levariam ao melhor destino. Guiou-me nos desafios, fortaleceu-me nas dificuldades e concedeu muito mais do que eu poderia merecer. Sou imensamente grato pelo lugar onde estou, pelas pessoas incríveis que conheci e por todas as oportunidades que tenho. Obrigado, Deus, por cada detalhe do meu caminho.

Agradeço aos meus pais, Cesar e Yaneth, as duas pessoas mais importantes da minha vida. Dois guerreiros que me educaram com amor e dedicação, enfrentando desafios com coragem, força e carinho. São minha maior inspiração.

A minha irmã, Yesica, uma mulher forte e sempre disposta a me ajudar, ouvir, ensinar, aconselhar e animar. Por muito tempo fomos só nós dois, e não poderia desejar companhia melhor para essa jornada. Obrigado, minha irmãzinha, por estar sempre ao meu lado e também pelos meus amados sobrinhos, que enchem minha vida de felicidade.

Aos meus amigos, que foram uma parte fundamental do meu caminho. Vocês estiveram ao meu lado não apenas nos momentos de alegria, mas também nas dificuldades, tornando os dias difíceis mais leves. A experiência que compartilhamos construiu um laço que vai além da amizade, um sentimento de família. Sinto que cuido de vocês, assim como sei que vocês também cuidam de mim.

Ao meu orientador, Paulo Junges, pela orientação constante, paciência, dedicação e paixão pelo seu trabalho. O senhor foi fundamental em minha trajetória acadêmica, e tenho grande respeito pela sua maneira de ensinar e compromisso com a profissão. Se algum dia eu optar pela docência, seu exemplo de excelência será meu modelo.

À banca avaliadora, expresse minha sincera gratidão pelo tempo dedicado à leitura e análise deste trabalho. Suas observações e questionamentos foram essenciais para o aprimoramento da pesquisa.

Finalmente, agradeço aos professores da UNILA, cujos ensinamentos, conselhos e vivências foram essenciais para a minha formação. Cada um de vocês contribuiu de forma significativa para o meu desenvolvimento profissional e pessoal, moldando não apenas o meu conhecimento, mas também o meu caminho de vida.

Construir uma ponte é mais do que uma solução de engenharia; é um ato de unir caminhos, superar obstáculos e transformar o impossível em realidade.

RESUMO

A conservação de pontes e viadutos, denominadas Obras de Arte Especiais (OAE), é essencial para a segurança da infraestrutura logística de transporte, especialmente diante do envelhecimento e da degradação dos materiais estruturais. No Brasil, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) utiliza o Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) para registrar inspeções e classificar as OAE em cinco níveis de deterioração: crítica (1); problemática (2); potencialmente problemática (3); sem problemas importantes (4) e; sem problemas (5). No entanto, a metodologia do SGO tem limitações na priorização de intervenções. Este trabalho teve como objetivo analisar e comparar a eficiência de quatro metodologias de inspeção: Método SGO, o método da norma Brasileira NBR 9452 (ABNT, 2019), o método de cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura, desenvolvido na Universidade de Brasília (GDE/UnB), e o Método ZAG/COST, utilizado pelo Instituto Esloveno de Engenharia (ZAG) para a classificação de OAE na União Europeia, conforme relatório técnico COST 345 (2007). Foram avaliadas cinco OAE classificadas como críticas (nível 1) pelo SGO a partir de relatórios de inspeções armazenadas no SGO. Os resultados mostram que o método GDE/UnB se destaca por sua precisão, praticidade e capacidade de priorizar OAE com base em critérios bem definidos, mesmo dentro de um mesmo nível de deterioração. Em contraste, a NBR 9452:2019 e o método SGO apresentam limitações relevantes, como baixa capacidade de priorização e critérios pouco eficientes. O método ZAG/COST, embora mais detalhado, é prejudicado pela subjetividade. Conclui-se que a adoção de metodologias mais modernas, como o GDE/UnB, é fundamental para uma gestão mais eficaz e segura das OAE.

Palavras-chave: Infraestrutura logística, Pontes, Classificação de pontes, Metodologia GDE/UnB, Deterioração.

ABSTRACT

The conservation of bridges and overpasses, commonly referred to in Brazil as Obras de Arte Especiais (OAE), is essential for the safety of transportation infrastructure, especially in light of the aging process and deterioration of structural materials. In Brazil, the National Department of Transport Infrastructure (DNIT) uses the Special Works Management System (SGO) to record inspections and classify bridges into five levels of deterioration: critical (1), problematic (2), potentially problematic (3), no significant issues (4), and no issues (5). However, the SGO methodology has limitations in prioritizing interventions. This study aimed to analyze and compare the efficiency of four inspection methodologies: the SGO method, the Brazilian standard NBR 9452 (ABNT, 2019), the Structural Deterioration Degree (GDE) method developed at the University of Brasília (GDE/UnB), and the ZAG/COST method used by the Slovenian National Building and Civil Engineering Institute (ZAG) for bridge classification in the European Union, based on the COST 345 technical report (2007). Five bridges classified as critical (level 1) by the SGO were evaluated using inspection reports stored in the system. The results show that the GDE/UnB method stands out for its accuracy, practicality, and ability to prioritize bridges based on well-defined criteria, even within the same level of deterioration. In contrast, the NBR 9452:2019 and SGO methods exhibit significant limitations, such as low prioritization capability and inefficient classification criteria. The ZAG/COST method, although more detailed, is hindered by subjectivity. It is concluded that adopting more modern methodologies, such as GDE/UnB, is essential for a more effective and safer bridge management system.

Keywords: Logistical infrastructure, Bridges, Bridge classification, GDE/UnB methodology, Deterioration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desagregação do concreto	23
Figura 2 - Ninho de concretagem	24
Figura 3 - Eflorescência.....	24
Figura 4 - Corrosão das armaduras.....	25
Figura 5 - Processo de carbonatação no concreto.....	25
Figura 6 - Encontro com fissura profunda	26
Figura 7 - Desplacamento do concreto.....	26
Figura 8 - Manchas de umidade	27
Figura 9 - O ciclo na vida de uma ponte.....	28
Figura 10 - Fluxograma para avaliação quantitativa do método GDE/UnB	36
Figura 11 - Ponte sobre o Rio do Peixe. (a) Vista inferior; (b) Pilar com concreto desagregado e armadura exposta e oxidada	46
Figura 12 - Ponte sobre o Rio Capivari – Vista inferior lateral	46
Figura 13 - Principais problemáticas. (a) Pilar com concreto desagregado com armadura principal muito oxidada; (b) Viga T e Transversina com armadura sem cobertura e oxidada	47
Figura 14 - Ponte sobre o Rio Paramirim. (a) Vista inferior lateral; (b) Estaca de C.A desconfinada com a armadura exposta e oxidada	48
Figura 15 - Ponte sobre o Rio Jequitinhonha. (a) Vista inferior lateral; (b) Estaca desconfinada	49
Figura 16 - Patologias apresentadas. (a) Laje com fissura profunda fina, lixiviação e mancha de carbonatação; (b) Transversina com concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, rompimento da transversina.....	50
Figura 17 - Viaduto km 217,24 sobre Ferrovia – Vista superior.....	51
Figura 18 - Patologias apresentadas. (a) Pilar com mancha de fogo; (b) Laje com concreto desagregado, armaduras expostas e oxidadas, além de armaduras rompidas.....	51
Figura 19 - Classificação da Degradação das OAE em Nível Crítico, pelo método GDE/UnB.....	58
Figura 20 - Classificação da Degradação das OAE em Nível Crítico pelo método ZAG/COST	66
Figura 21 - Foto de identificação da OAE.....	73

Figura 22 - Foto lateral da ponte vista inferior	73
Figura 23 - Foto de identificação superior da OAE/Ausência de sinalização vertical	74
Figura 24 - Junta de dilatação - Junta danificada, inexistente ou expelida.....	74
Figura 25 - Pilar com manchas de umidade	75
Figura 26 - Pilar com ferragem principal muito oxidada em pontos localizados, concreto desagregado.....	75
Figura 27 - Pilar com ferragem principal muito oxidada em pontos localizados, concreto desagregado.....	76
Figura 28 - Viga T ou I-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada ..	76
Figura 29 - Viga T ou I-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada ..	77
Figura 30 - Viga com concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, degradação devido à ação biológica	77
Figura 31 - Viga T ou I - Nicho de concretagem	78
Figura 32 - Nicho de concretagem/ Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada.....	78
Figura 33 - Transversina com concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, ferragem principal exposta.....	79
Figura 34 - Laje Infiltração e mancha de umidade, Fissura profunda fina	79
Figura 35 - Laje com concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	80
Figura 36 - Fissura profunda fina (A favor da segurança), lixiviação e carbonatação	80
Figura 37 - Guarda corpo com deslocamento de concreto com armadura exposta e oxidada.....	81
Figura 38 - Guarda corpo com deslocamento de concreto com armadura exposta e oxidada.....	81
Figura 39 - Ala com concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, infiltração e mancha de umidade.....	82
Figura 40 - Ala com Infiltração e mancha de umidade, lixiviação e mancha de carbonatação.....	82
Figura 41 - Pavimento asfáltico - danificado.....	82
Figura 42 - Pilar/Viga de contraventamento - Concreto desagregado com armadura exposta; Pilar- mancha de umidade	83

Figura 43 - Vista inferior lateral.....	83
Figura 44 - Transversina, Viga T-Degradação devido ação biológica	84
Figura 45 - Pilar-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	84
Figura 46 - Viga T, Transversina-Armadura sem cobrimento	85
Figura 47 - Viga T, Transversina-Armadura sem cobrimento	85
Figura 48 - Viga T, Transversina-Armadura sem cobrimento/Viga T-Concreto desagregado com armadura exposta.....	86
Figura 49 - Transversina-Armadura sem cobrimento	86
Figura 50 - Viga T, Transversina-Armadura sem cobrimento/Viga T, Laje-Mancha de umidade, Lixiviação	87
Figura 51 - Pilar-Ferragem principal muito oxidada em pontos localizados	87
Figura 52 - Pilar-Ferragem principal muito oxidada em pontos localizados	88
Figura 53 - Pilar-Ferragem principal muito oxidada em pontos localizados	88
Figura 54 - Transversina- Armadura sem cobrimento	89
Figura 55 - Guarda rodas-Deslocamento de concreto com armadura exposta	89
Figura 56 - Guarda rodas-Deslocamento de concreto com armadura exposta	90
Figura 57 - Pavimento asfáltico-Danificado, Buraco na pista	90
Figura 58 - Foto de identificação da OAE.....	91
Figura 59 - Bloco de C.A-concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	91
Figura 60 - Bloco de C.A-Fissura profunda aberta	92
Figura 61 - Estaca de C.A-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, estaca desconfinada	92
Figura 62 - Estaca de C.A-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, estaca desconfinada	93
Figura 63 - Pilar em colunas-Infiltração e mancha de umidade.....	93
Figura 64 - Viga T ou I-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, fissura superficial.....	94
Figura 65 - Laje de C.A-Fissura Profunda Fina, lixiviação e carbonatação	94
Figura 66 - Pilar em colunas-deslocamento de concreto com armadura exposta ..	95
Figura 67 - Pavimento asfáltico - buraco na pista.....	95
Figura 68 - Laje de C.A-Fissura Profunda Fina, lixiviação e carbonatação	96
Figura 69 - Guarda-rodas - Deslocamento de concreto com armadura exposta	96

Figura 70 - Viga T ou I-Degradação devido à ação biológica, armadura sem cobrimento.....	97
Figura 71 - Junta de dilatação - junta de dilatação danificada, inexistente ou expelida	97
Figura 72 - Laje de C.A-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada .	98
Figura 73 - Cortina de C.A-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, lixiviação e carbonatação.....	98
Figura 74 - Bloco de C.A-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	99
Figura 75 - Guarda-Corpo - Desplacamento de concreto com armadura exposta ...	99
Figura 76 - Viga - Desplacamento de concreto com armadura exposta / Dente gerber - infiltração no concreto.....	100
Figura 77 - Viga, transversina - degradação biológica	100
Figura 78 - Laje - concreto desagregado com armadura exposta e oxidada.....	101
Figura 79 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada.....	101
Figura 80 - Transversina - mancha de umidade	102
Figura 81 - Transversina - degradação biológica, concreto desagregado com armadura exposta e oxidada.....	102
Figura 82 - Guarda-rodas - fissura profunda aberta	103
Figura 83 - Laje - fissura profunda fina, lixiviação e mancha de carbonatação	103
Figura 84 - Laje - concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, mancha de umidade.....	104
Figura 85 - Laje - fissura profunda fina, mancha de umidade, lixiviação e mancha de carbonatação.....	104
Figura 86 - Viga - Desplacamento de concreto com armadura exposta.....	105
Figura 87 - Pilar - concreto desagregado / Parede de contraventamento - armadura sem cobertura.....	105
Figura 88 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada / Viga – lixiviação.....	106
Figura 89 - Estaca - Estaca desconfinada.....	106
Figura 90 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada / Viga – lixiviação.....	107
Figura 91 - Estaca - Estaca desconfinada.....	107

Figura 92 - Dente gerber - mancha de umidade, infiltração no concreto / Laje - fissura profunda fina, lixiviação	108
Figura 93 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	108
Figura 94 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	109
Figura 95 - Bloco - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada / Estaca - estaca desconfinada	109
Figura 96 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	110
Figura 97 - Bloco - armadura sem cobrimento	110
Figura 98 - Transversina - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, rompimento da transversina	111
Figura 99 - Transversina - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	111
Figura 100 - Viga, laje - fissura profunda fina, lixiviação e mancha de carbonatação	112
Figura 101 - Vista lateral da OAE	112
Figura 102 - Transversina - mancha de umidade, infiltração no concreto, concreto desagregado com armadura exposta	113
Figura 103 - Transversina - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, armadura rompida.....	113
Figura 104 - Placa de identificação	114
Figura 105 - Guarda corpo-Destruído.....	114
Figura 106 - Pilar- Mancha de fogo	115
Figura 107 - Ponte em laje-Mancha de fogo, Lixiviação e mancha de carbonatação	115
Figura 108 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	116
Figura 109 - Viga de contraventamento-Manchas de umidade, concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	116
Figura 110 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada; Armaduras rompidas.....	117
Figura 111 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, Lixiviação	117

Figura 112 - Viga de contraventamento-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	118
Figura 113 - Ponte em laje-Concreto desagregado, Infiltração no concreto, umidade, armaduras rompidas	118
Figura 114 - Viga de contraventamento-Concreto desagregado, umidade, lixiviação, fissura profunda aberta ($w > 0,3$ mm).....	119
Figura 115 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, Lixiviação	119
Figura 116 - Viga de contraventamento-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	120
Figura 117 - Viga de contraventamento-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	120
Figura 118 - Pilar-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	121
Figura 119 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	121
Figura 120 - Viga de contraventamento-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	122
Figura 121 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	122
Figura 122 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, Lixiviação	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alguns dos colapsos de OAE no mundo.....	23
Tabela 2 - Notas técnicas e os critérios para atribuição segundo o método SGO	29
Tabela 3 - Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância no sistema estrutural	32
Tabela 4 - Modelo de ficha de classificação da OAE.....	33
Tabela 5 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.....	34
Tabela 6 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura.....	38
Tabela 7 - Fatores de relevância estrutural (Fr).....	39
Tabela 8 - Índice $K2i$	42
Tabela 9 - Sistema de classificação utilizado pelo ZAG/COST.....	43
Tabela 10 - Resultado para a OAE-01 pela metodologia NBR 9452/2019	53
Tabela 11 - Resultado para a OAE-02 pela metodologia NBR 9452/2019	53
Tabela 12 - Resultado para a OAE-03 pela metodologia NBR 9452/2019	54
Tabela 13 - Resultado para a OAE-04 pela metodologia NBR 9452/2019	54
Tabela 14 - Resultado para a OAE-05 pela metodologia NBR 9452/2019	54
Tabela 15 - Resumo dos resultados classificativos das OAE com a metodologia da NBR 9452/2019.....	55
Tabela 16 - Resultado do cálculo do Gd para a OAE-01 pela metodologia GDE/UnB	56
Tabela 17 - Resultado do cálculo do Gd para a OAE-02 pela metodologia GDE/UnB	56
Tabela 18 - Resultado do cálculo do Gd para a OAE-03 pela metodologia GDE/UnB	57
Tabela 19 - Resultado do cálculo do Gd para a OAE-04 pela metodologia GDE/UnB	57
Tabela 20 - Resultado do cálculo do Gd para a OAE-05 pela metodologia GDE/UnB	57
Tabela 21 - Resultado da classificação da condição (R) para a OAE-01, utilizando o método ZAG/COST	59

Tabela 22 - Resultado da classificação da condição (R) para a OAE-02, utilizando o método ZAG/COST	60
Tabela 23 - Resultado da classificação da condição (R) para a OAE-03, utilizando o método ZAG/COST	62
Tabela 24 - Resultado da classificação da condição (R) para a OAE-04, utilizando o método ZAG/COST	63
Tabela 25 - Resultado da classificação da condição (R) para a OAE-05, utilizando o método ZAG/COST	64
Tabela 26 - Comparação dos métodos segundo critérios técnicos relevantes	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	18
2	OBJETIVOS	21
2.1	Objetivo Geral	21
2.2	Objetivos Específicos	21
3	REVISÃO DA LITERATURA	22
3.1	Manifestações patológicas em Obras de Arte Especiais	22
3.1.1	Desagregação do concreto	23
3.1.2	Ninhos de concretagem	24
3.1.3	Eflorescência	24
3.1.4	Corrosão	25
3.1.5	Carbonatação	25
3.1.6	Fissuras	26
3.1.7	Deslocamento do concreto	26
3.1.8	Manchas de umidade	27
3.2	Métodos de classificação.	27
3.2.1	Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) ..	28
3.2.2	Norma de inspeção NBR 9452/2019	30
3.2.3	Método de cálculo do Grau de Deterioração (GDE/UnB)	35
3.2.4	Método ZAG/COST	40
4	MÉTODO	44
4.1	Estudos de Caso	45
4.1.1	OAE-01: Ponte sobre o Rio do Peixe	45
4.1.2	OAE-02: Ponte sobre o Rio Capivari	46
4.1.3	OAE-03: Ponte sobre o Rio Paramirim	47
4.1.4	OAE-04: Ponte sobre o Rio Jequitinhonha	48
4.1.5	OAE-05: Viaduto km 217,24 sobre Ferrovia	50
4.2	Comparação dos métodos	52
5	RESULTADOS	53
5.1	Resultados pela norma de inspeção NBR 9452 (ABNT, 2019)	53

5.2	Resultados pelo método GDE/UnB	56
5.3	Resultados pelo método ZAG/COST	59
5.4	Comparação dos Resultados e Sugestões	67
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
6.1	Recomendações para trabalhos futuros.....	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	APÊNDICE	73

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Para o desenvolvimento econômico, social e ambiental de qualquer território, a comunicação e o acesso são fundamentais (WORLD BANK, 2009). As regiões com geografias variadas, como áreas montanhosas, florestas e rios, apresentam desafios significativos para a interconectividade. Nesse cenário, a construção de infraestruturas, como pontes e viadutos, torna-se fundamental para superar barreiras naturais e garantir a integração entre diferentes áreas geográficas. Essas obras não apenas facilitam o fluxo de mercadorias e melhoram a comunicação entre regiões, como também desempenham um papel importante na mobilidade urbana, favorecendo um desenvolvimento regional mais equilibrado (WORLD BANK, 2009). Além disso, são essenciais para o acesso a zonas turísticas e de preservação ambiental, contribuindo de maneira decisiva para o crescimento sustentável e seguro do país.

No Brasil, essas estruturas são conhecidas como Obras de Arte Especiais (OAE). A maioria das OAE foram construídas antes da década de 1980 e estão se aproximando do fim de sua vida útil projetada, geralmente estimada em cerca de 50 anos (MANIFESTO, 2025). De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT), o país possui um grande número de pontes e viadutos em estado avançado de uso, apresentando sinais de desgaste, o que demanda reformas urgentes ou, em alguns casos, a substituição dessas estruturas (CNT, 2018).

A preservação e manutenção das OAE no Brasil, são fundamentais para garantir sua funcionalidade ao longo do tempo. Projetadas para suportar cargas e condições ambientais específicas, essas estruturas necessitam de cuidados adequados e uma gestão eficaz para assegurar sua durabilidade, eficiência e segurança. Além de serem influenciadas pelo ambiente onde estão localizadas, as OAE são também afetadas pelo seu projeto, construção, uso e conservação. Portanto, é essencial implementar um controle rigoroso e realizar inspeções periódicas ao longo de todo o ciclo de vida da estrutura para identificar e corrigir eventuais problemas ou danos.

A falta de manutenção adequada, a ausência de atenção aos sinais de deterioração e a carência de proteções podem levar a situações críticas, como

exemplificado recentemente pelo caso da ponte sobre o Rio Tocantins, em dezembro de 2024, resultando em irreparáveis perdas de vidas humanas e danos sociais e econômicos. Em um manifesto pela segurança e manutenção das pontes brasileiras, publicado por associações representativas da engenharia de pontes do Brasil em fevereiro de 2025, são feitas declarações claras sobre a necessidade de uma priorização adequada das OAE. O manifesto aponta que a ponte no Rio Tocantins apresentava uma nota de degradação ruim (NT = 2) desde o último relatório de 2020, mas os fatos evidenciam a necessidade urgente de uma intervenção crítica. Além disso, observa-se que 1.039 pontes no Brasil se encontram em condições ruins (NT = 2) ou críticas (NT = 1), o que gera a pergunta: com um volume tão grande de pontes em condições críticas, quais estão em pior estado? Isso provoca uma grande sensação de insegurança na sociedade (MANIFESTO, 2025).

No passado também tivemos o caso do Viaduto Vila Rica, também conhecido como Viaduto das Almas, localizado na BR-040 em Itabirito (MG). Inaugurado em 1957 e desativado em 2010, o viaduto é conhecido por seu histórico de tragédias devido ao seu design inadequado, sinalização deficiente, falta de acostamento e de separação entre as pistas. Esses fatores resultaram em mais de 200 mortes ao longo dos anos. O acidente mais grave ocorreu em agosto de 1969, quando um ônibus caiu do viaduto, causando 30 mortes. Outro incidente significativo ocorreu em setembro de 1967, quando um ônibus despencou, resultando em 14 vítimas fatais (CNT, 2018).

A omissão na realização de intervenções no prazo correto pode levar uma OAE a uma situação em que a limitação de carga ou a completa interdição da estrutura se tornem as únicas alternativas viáveis (VERLY, 2015). Portanto, é essencial estabelecer um sistema de gestão de OAE, em inglês *Bridge Management System* (BMS), que possibilite o monitoramento contínuo do estado dessas estruturas. O BMS facilita o planejamento e a programação de atividades de manutenção e reparo, além de fornecer uma base de dados completa para registrar informações relevantes sobre cada estrutura, como os resultados das inspeções e as ações tomadas para resolver problemas identificados.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), responsável por aproximadamente seis mil OAE no Brasil, utiliza um BMS chamado de Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) para registrar os

dados das inspeções dessas estruturas. O método empregado pelo SGO atribui a cada elemento componente da ponte uma nota de avaliação, variando de 1 a 5: crítica (1); problemática (2); potencialmente problemática (3); sem problemas importantes (4) e; sem problemas (5). A nota final da ponte corresponde à menor nota recebida entre os seus elementos com função estrutural (DNIT, 2004). No entanto, a metodologia utilizada pelo SGO muitas vezes não é eficaz para priorizar intervenções. Essa limitação fica evidente no levantamento de Junges, Silva e Verly (2023), que, ao analisarem um extrato do SGO de 2023, identificaram 936 OAE em condição crítica ou problemática (notas 1 e 2). Dentre essas, 110 apresentavam superestrutura em concreto armado e nota 1, demonstrando a falta de critérios eficientes para priorizar reparos urgentes. Para superar esse tipo de impasse, métodos de classificação mais modernos vêm sendo desenvolvidos, como o método da norma Brasileira NBR 9452 (ABNT, 2019), o método de cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura (GDE/UnB), e o método ZAG/COST, que, apesar de empregarem metodologias diferentes, aparentemente compartilham o objetivo comum de classificar as OAE, em mais categorias, destacando aquelas em condição crítica.

Este estudo propôs realizar uma análise comparativa detalhada entre os quatro diferentes métodos - SGO, NBR 9452/2019, GDE/UnB e ZAG/COSTE - de classificação da degradação em OAE, considerando suas vantagens e limitações. Os resultados desta pesquisa podem orientar profissionais da área de conservação na escolha de métodos adequados para a preservação eficaz de pontes, viadutos e outras obras de arte especiais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise comparativa entre diferentes métodos de classificação da degradação em OAE, a fim de identificar quais são mais eficazes, precisos e práticos, contribuindo assim para a escolha do método mais adequado para a conservação e restauração dessas estruturas.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar e descrever os principais métodos atualmente utilizados na classificação da degradação em OAE.
- b) Avaliar a eficácia e a precisão de cada método através de estudos de caso.
- c) Propor recomendações baseadas na análise comparativa, visando orientar a escolha dos métodos mais apropriados para a classificação da degradação em OAE.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Manifestações patológicas em Obras de Arte Especiais.

No passado, havia pouca preocupação com o envelhecimento das estruturas de concreto armado, devido à crença generalizada de que esse material manteria sua integridade ao longo de toda a vida útil. No entanto, essa percepção equivocada ainda persiste entre aqueles com menor conhecimento técnico, o que pode resultar no uso inadequado das edificações e acelerar a degradação das estruturas (SOUZA; COELHO, 2022).

Bertolini (2010) destaca que a partir da década de 1980, o surgimento de inúmeros casos de degradação acelerada em estruturas de concreto armado e pretendido aumentou a preocupação com a segurança e os elevados custos de manutenção. Esse cenário despertou uma maior atenção para os cuidados na execução e na manutenção dessas estruturas.

No mundo, diversos acidentes têm causado um impacto significativo na sociedade, não só pelos prejuízos financeiros, mas também pelas perdas de vidas humanas. Os colapsos apresentados na **Tabela 1** ressaltam a extrema responsabilidade exigida na manutenção das OAE.

As manifestações patológicas podem surgir em uma ou mais das cinco principais etapas do processo de construção e uso de uma obra: Planejamento, Projeto, Materiais, Execução e Utilização.

A ausência de detalhes no projeto, falhas na construção, falta de conhecimento do operário, descuidos do engenheiro e pequenos detalhes esquecidos podem causar defeitos. Se não forem corrigidos, esses defeitos podem levar a problemas graves ou até à ruína da construção (GIOVANNETTI, 2014).

Nos próximos itens, serão abordadas as principais e mais comuns manifestações patológicas que impactam diretamente a segurança estrutural das OAE.

Tabela 1 - Alguns dos colapsos de OAE no mundo

Ano	País	OAE	Mortes	Causa provável
1967	EUA	Silver Bridge	46	Seção insuficiente e corrosão
2001	Portugal	Ponte Hintze Ribeiro	59	Infraescravação
2006	Canadá	PS <i>Concorde Bpulevard</i>	5	Ruptura por corte em um apoio
2007	EUA	Ponte Minneapolis I-35W	12	Capacidade resistente insuficiente
2007	Paquistão	Ponte Shershah (Karachi)	10	Não apresentado. Ponte em serviço há menos de duas semanas
2012	China	Viaduto de acesso à ponte Yangmingtan, sobre o rio Songhua		Subdimensionamento
2013	EUA-Canadá	Ponte I-5 sobre o rio Skagit		Impacto de um veículo pesado

Fonte: Khan (2010), Almeida (2013)

3.1.1 Desagregação do concreto

Processo em que o concreto se desintegra, geralmente causado por reações químicas, infiltração de água ou condições climáticas adversas. Isso resulta na perda de aderência entre os agregados e a pasta de cimento.

Figura 1 - Desagregação do concreto


Fonte: DNIT (2023).

3.1.2 Ninhos de concretagem

Formação de vazios ou falhas na superfície do concreto devido à má compactação ou à mistura inadequada, levando à perda de resistência na estrutura.

Figura 2 - Ninho de concretagem



Fonte: Verly (2015)

3.1.3 Eflorescência

Formação de depósitos brancos na superfície do concreto, resultantes da migração de sais solúveis que se cristalizam na presença de umidade.

Figura 3 - Eflorescência



Fonte: Verly (2015)

3.1.4 Corrosão

Processo de deterioração do aço de armadura no concreto devido à presença de umidade e agentes agressivos, como cloretos, que afetam a proteção passiva da armadura.

Figura 4 - Corrosão das armaduras

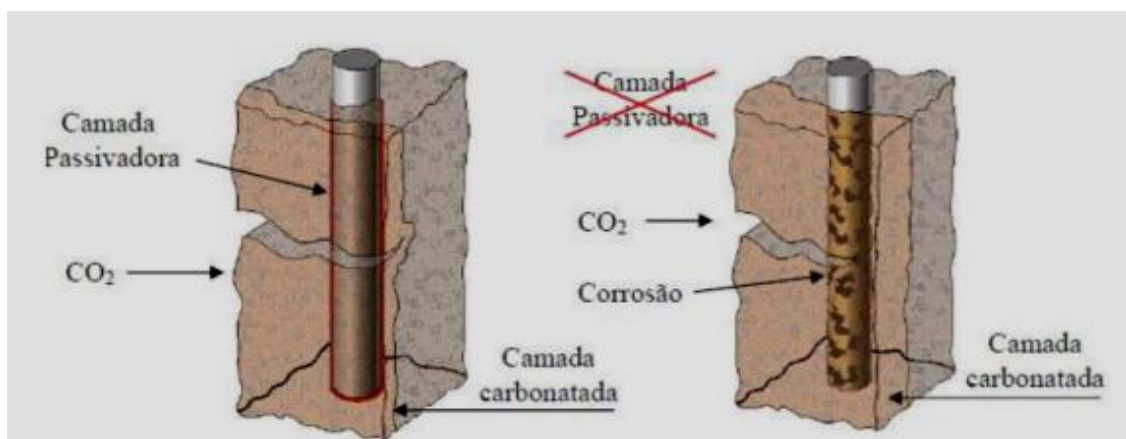


Fonte: DNIT (2023)

3.1.5 Carbonatação

Processo químico em que o dióxido de carbono do ar se dissolve na umidade do concreto, diminuindo a alcalinidade e comprometendo a proteção das armaduras.

Figura 5 - Processo de carbonatação no concreto.



Fonte: Tula (2000) apud Bazan (2014)

3.1.6 Fissuras

Rachaduras ou fendas que se formam na superfície do concreto, podendo ser causadas por retração, variações térmicas ou sobrecargas.

Figura 6 - Encontro com fissura profunda



Fonte: DNIT (2023)

3.1.7 Deslocamento do concreto

Desprendimento de camadas de concreto da superfície, frequentemente resultante de corrosão da armadura ou infiltração de umidade.

Figura 7 - Deslocamento do concreto



Fonte: Verly (2015)

3.1.8 Manchas de umidade

Marcas ou manchas na superfície do concreto causadas pela presença de umidade, que podem indicar problemas de infiltração ou falhas na impermeabilização.

Figura 8 - Manchas de umidade

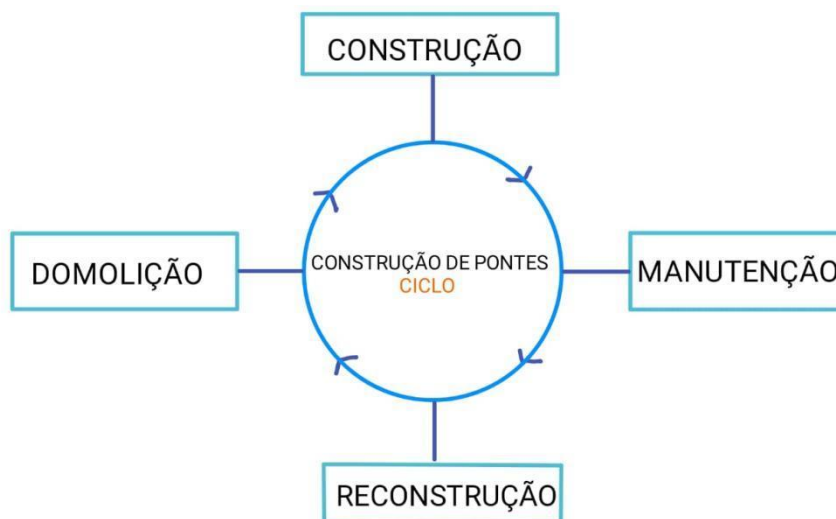


Fonte: Verly (2015)

3.2 Métodos de classificação.

Conforme discutido anteriormente, a condição de uma OAE pode ser impactada por diversos fatores, atuando de forma independente ou combinada. Para avaliar adequadamente a integridade da estrutura, é essencial realizar uma análise e classificação precisas dos defeitos e suas causas, levando em consideração sua capacidade de carga, o tempo de vida útil remanescente, a utilidade e a funcionalidade. Essas informações são cruciais para garantir a manutenção e os reparos necessários. Assim, o ciclo de vida ideal de uma OAE é representado na **Figura 9**.

Nos itens a seguir, serão apresentadas as metodologias pertinentes a este trabalho.

Figura 9 - O ciclo na vida de uma ponte

Fonte: Khan (2010)

3.2.1 Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO)

A confiabilidade e a precisão dos dados que alimentam o Sistema de Gestão de Obras (SGO) são fundamentais para garantir a eficiência e a segurança no gerenciamento das OAE. Esses dados são coletados por meio de diferentes tipos de inspeções realizadas periodicamente, onde são registradas informações sobre danos e deficiências estruturais em diversos componentes das OAE. Após a coleta, os dados são utilizados para avaliar a segurança estrutural, a conservação e a capacidade de serviço das obras.

O SGO baseia-se em cinco tipos principais de inspeções: cadastral, rotineira, especial, intermediária e extraordinária, conforme as diretrizes do DNIT (2004a, 2004b, 2004c). A inspeção cadastral é realizada logo após a conclusão da obra ou quando ela é incorporada ao sistema viário, documentando minuciosamente as características geométricas, estruturais e funcionais da OAE. Esse tipo de inspeção também é essencial quando ocorrem alterações significativas na estrutura, como alargamento ou reforço.

As inspeções rotineiras, por sua vez, são feitas em intervalos regulares (geralmente a cada dois anos) e têm como objetivo manter atualizado o banco de dados do SGO. Elas permitem o monitoramento contínuo das condições da estrutura

e a identificação de danos que possam comprometer sua integridade. Em condições especiais, como ambientes agressivos ou estruturas antigas, esse intervalo pode ser reduzido para um ano ou menos.

Quando são identificados defeitos críticos ou em casos de obras de grande vulto e complexidade, a inspeção especial é realizada. Esse tipo de inspeção é mais detalhado e pode exigir o uso de equipamentos especializados, como lunetas, andaimes ou veículos com lança e gôndola, além de análises estruturais mais profundas. A inspeção especial também pode incluir medidas de flecha e acesso a partes internas da estrutura, como ocorre em pontes com seção transversal do tipo caixão.

Além disso, a inspeção intermediária é utilizada para monitorar deficiências já detectadas em outras inspeções, como recalques de fundação ou erosão incipiente, e não requer a presença de um inspetor sênior. Por fim, a inspeção extraordinária é acionada em casos de danos repentinos, provocados por eventos externos como acidentes ou desastres naturais, que possam comprometer a segurança da OAE. Nessa situação, o inspetor tem a autoridade para restringir ou interromper o tráfego até que a estrutura seja devidamente avaliada.

Essas inspeções, conduzidas devidamente, garantem a segurança e a longevidade das OAE, assegurando que intervenções preventivas e corretivas possam ser realizadas de maneira eficaz. Além disso, elas utilizam uma classificação de 1 a 5 para refletir a gravidade dos problemas identificados, conforme apresentado na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Notas técnicas e os critérios para atribuição segundo o método SGO

Nota técnica	Danos no elemento/ Insuficiência estrutural	Ação corretiva	Condição de estabilidade	Classificação das condições da OAE
5	Não há danos nem insuficiência estrutural	Nada a fazer.	Boa	Obra sem problemas
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que eles estejam gerando insuficiência estrutural	Nada a fazer; apenas serviços de manutenção.	Boa	Obra sem problemas importantes

Continuação Tabela 2

Nota técnica	Danos no elemento/ Insuficiência estrutural	Ação corretiva	Condição de estabilidade	Classificação das condições da OAE
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra	A recuperação pode ser postergada. Colocar o problema em observação sistemática	Boa aparentemente	Obra potencialmente problemática
2	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural, porém ainda não há, aparentemente, risco tangível de colapso da estrutura	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	Obra problemática
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na OAE, o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo risco tangível de colapso estrutural	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) - ou em alguns casos, substituição da obra - deve ser feita sem tardar.	Precária	Obra crítica

Fonte: DNIT (2004c).

3.2.2 Norma de inspeção NBR 9452/2019

A norma NBR 9452 (ABNT, 2019), que trata da inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto, foi desenvolvida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para estabelecer diretrizes claras e práticas para a avaliação dessas estruturas. A norma tem como origem a necessidade crescente de garantir a segurança e a integridade das infraestruturas de transporte no Brasil, em resposta a casos de deterioração e acidentes que podem ocorrer devido à falta de manutenção adequada.

Com 48 páginas, a norma fornece procedimentos detalhados que devem ser seguidos por profissionais qualificados, como engenheiros e técnicos especializados. Os principais objetivos incluem a identificação de danos, a avaliação das condições de conservação e a determinação das necessidades de manutenção e reparo. Assim, a degradação da estrutura é associada a três parâmetros (estrutural, funcional e de durabilidade), ou seja, ao final a OAE terá três notas distintas, variando de 1 a 5.

Da mesma forma que o método SGO, a NBR 9452 (ABNT, 2019) também divide as inspeções em quatro tipos: cadastral, rotineira, especial e extraordinária.

A inspeção cadastral é a primeira a ser realizada após a conclusão da obra ou após modificações estruturais. Seu objetivo é registrar informações básicas, incluindo fotografias, desenhos esquemáticos e a classificação da obra, permitindo um levantamento detalhado da sua condição inicial.

A inspeção rotineira ocorre periodicamente, em um intervalo máximo de um ano, e tem a finalidade de monitorar a evolução de anomalias detectadas em avaliações anteriores, além de identificar possíveis novas ocorrências. Esse processo inclui registros fotográficos, fichas de inspeção e comparações com levantamentos anteriores. Já a inspeção especial ocorre a cada cinco anos, podendo ser estendida para até oito, dependendo da classificação da obra. Trata-se de uma avaliação detalhada, na qual se realiza o mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias estruturais. Em alguns casos, o uso de equipamentos especiais pode ser necessário para acessar todas as partes da estrutura.

Por fim, a inspeção extraordinária é realizada em situações excepcionais, como após impactos de veículos ou embarcações, eventos climáticos extremos ou qualquer outra condição que exija uma avaliação emergencial. Esse tipo de inspeção resulta em um relatório específico, com mapeamento das anomalias e recomendações de intervenção, podendo demandar o uso de equipamentos especiais para acesso à estrutura afetada.

A inspeção especial é uma das mais detalhadas da norma, a mais adequada para OAE que apresentam deteriorações facilmente identificáveis. Esse tipo de inspeção segue uma metodologia específica, composta pelos seguintes passos:

Identificação dos tipos de elementos nas estruturas convencionais

A norma especifica que, para as inspeções, é necessário identificar corretamente os tipos de elementos nas estruturas convencionais, a fim de priorizar adequadamente a intervenção necessária em cada parte da OAE. Com essa finalidade, a **Tabela 3** tem o objetivo de orientar essa identificação, apresentando uma classificação dos danos que podem ocorrer, onde:

- **Elemento principal (P):** cujo dano pode ocasionar o colapso parcial ou total da obra;
- **Elemento secundário (S):** cujo dano pode ocasionar ruptura localizada;
- **Elemento complementar (C):** cujo dano não causa nenhum comprometimento estrutural, apenas funcional na OAE.

Tabela 3 - Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância no sistema estrutural

Elemento			Sistema estrutural				
			Duas vigas	Grelha	Caixão	Laje	Galeria
Superestrutura	Viga	Longarina	P	P	–	–	–
		Transversina	S	S	S	S	S
	Laje	S	S	P	P	P	
Mesoestrutura	Travessas	P	P	P	P	–	
	Pilares	P	P	P	P	–	
	Aparelho de apoio	P	P	P	P	–	
Encontros	Cortina	S	S	S	S	–	
	Laje de transição	S	S	S	S	S	
	Muros de ala	S	S	S	S	S	
Infraestrutura	Blocos	P	P	P	P	P	
	Sapatas	P	P	P	P	P	
	Estacas, Tubulões	P	P	P	P	P	
Complementares	Barreira rígida	C	C	C	C	C	
	Guarda-corpo	C	C	C	C	C	

Fonte: ABNT (2019)

Nota de classificação da OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade

A NBR 9452 (ABNT, 2019) apresenta tabelas importantes para a avaliação correta das OAE. Entre elas, destacam-se as Tabelas E.2, E.3 e E.4, que contêm quadros referenciais para as classificações dos parâmetros estruturais, funcional e de durabilidade, respectivamente.

Nota Final

Finalmente, a classificação final é apresentada conforme o modelo mostrado na **Tabela 4**, levando em consideração a etapa anterior. A menor nota de cada parâmetro considerado é utilizada para essa avaliação.

Tabela 4 - Modelo de ficha de classificação da OAE

Parâmetro	Elemento						Nota final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	0	0	0	0	0	0	0
Funcional	0	NA	NA	0	0	0	0
Durabilidade	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: ABNT (2019).

Dessa maneira, é obtido notas variando de 5 a 1 para cada critério. Com base nesses resultados, a condição da OAE é classificada como excelente, boa, regular, ruim ou crítica, conforme apresentado na **Tabela 5**. A nota final da OAE é a menor nota entre os critérios avaliados, resultando em uma classificação da obra com três notas finais.

Tabela 5 - 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 comprometem 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 de intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e instrumentação associada, 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.

Fonte: ABNT (2019).

3.2.3 Método de cálculo do Grau de Deterioração (GDE/UnB)

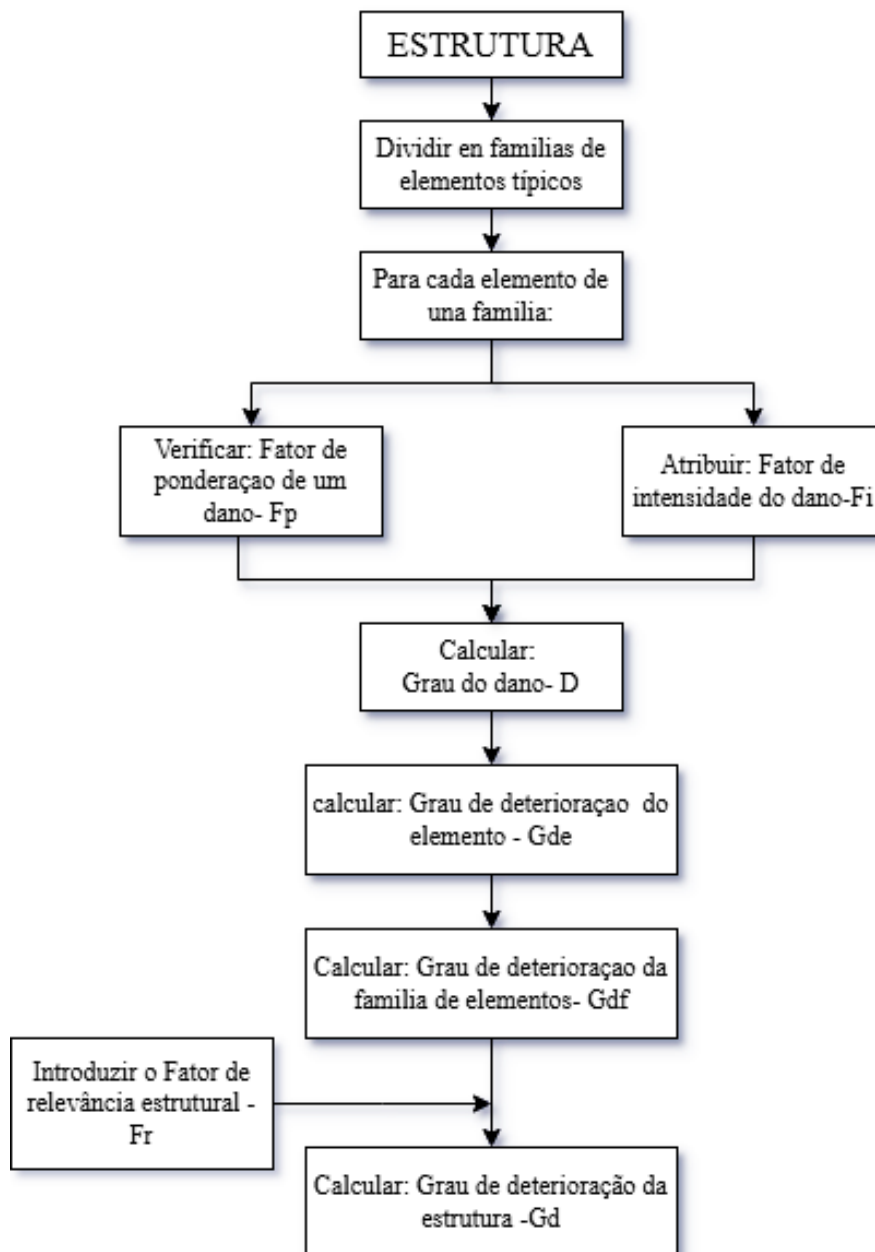
A metodologia GDE foi criada por Castro (1994) na Universidade de Brasília (UnB). Essa metodologia foi desenvolvida para contribuir com a manutenção estrutural de edificações, permitindo a quantificação do grau de deterioração de elementos estruturais isolados e da estrutura como um todo. A metodologia considera parâmetros como as manifestações mais comuns de danos, a evolução desses problemas e a influência do ambiente ao redor da estrutura.

O processo envolve a realização de inspeções periódicas, conduzidas por engenheiros e técnicos experientes, com o objetivo de avaliar a segurança, funcionalidade e estética dos elementos de concreto. Ao longo dos anos, a Metodologia GDE foi adaptada por vários autores, como Lopes (1998), Boldo (2002), Fonseca (2007), Euqeres (2011) e Verly (2015), sendo as contribuições de Euqeres e Verly voltadas para ampliar a aplicabilidade da metodologia a estruturas mais complexas, como pontes e viadutos.

Essas adaptações consolidaram a Metodologia GDE como uma ferramenta essencial para a manutenção preventiva e corretiva das estruturas, possibilitando uma avaliação precisa do seu estado de conservação. O método utiliza uma escala de avaliação que varia de 1 a 282,8 (VERLY, 2015), permitindo uma análise mais detalhada e criteriosa. Ele é composto por diversas etapas, conforme ilustrado na **Figura 10**, as quais serão explicadas a seguir.

Dividir em famílias de elementos típicos

Nesta etapa, os elementos são agrupados com base em suas características e funções estruturais. Os elementos dentro de uma mesma família são tratados de maneira uniforme pela metodologia. As famílias podem ser divididas da seguinte maneira: Pilares, vigas e transversinas; lajes; guarda-corpos, barreiras e guarda-rodas; cortinas e alas; blocos de fundação; juntas de dilatação; pista de rolamento.

Figura 10 - Fluxograma para avaliação quantitativa do método GDE/UnB

Fonte: Castro (1994).

Verificar o fator de ponderação de um dano (F_p)

O F_p quantifica a importância relativa de danos em termos de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma família, variando de 1 a 5. É preenchido antes da inspeção, exceto para fissuras, que são avaliadas durante a inspeção.

Atribuir o fator de intensidade do dano (F_i)

O F_i , variando de 0 a 4, classifica a gravidade e evolução do dano, independentemente do elemento estrutural. Os valores aumentam conforme a gravidade do dano.

Calcular o grau do dano (D)

O valor de D pode ser calculado pela **Equação 1** ou pela **Equação 2**.

$$D = 0,8 * F_i * F_p \quad \text{Para } F_i \leq 2,0 \quad (\text{Equação 1})$$

$$D = (12 * F_i - 28) * F_p \quad \text{Para } F_i \geq 3,0 \quad (\text{Equação 2})$$

Calcular o grau de deterioração do elemento (G_{de})

Após a obtenção dos graus isolados de cada dano (D) é feita uma análise dos efeitos de todos os danos no elemento por meio da **Equação 3**.

$$G_{de} = G_{m\acute{a}x} \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^n D_i) - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right] \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

G_{de} Grau de deterioração do elemento;

D_i Grau do dano de índice i ;

$D_{m\acute{a}x}$ Maior Grau do dano encontrado no elemento;

n Número de danos encontrados no elemento.

A **Tabela 6** relaciona o valor de G_{de} com cinco níveis de deterioração e suas respectivas recomendações de ações. Essas recomendações se tornam mais rigorosas com o aumento do G_{de} , até exigir uma inspeção especial emergencial com intervenção imediata.

Tabela 6 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura

Nível de deterioração	G_{de}	Ações recomendadas
Baixo	0-15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15-50	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	50-80	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano)
Sofrível	80-100	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	>100	Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata.

Fonte: Fonseca (2007)

Calcular o grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df})

O G_{df} avalia o conjunto de elementos de uma família, considerando os valores de G_{de} de cada elemento dessa família. O valor de G_{df} pode ser calculado pela **Equação 4**.

$$G_{df} = G_{de,máx} \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^n D_{de,j}) - D_{de,máx}}{\sum_{i=1}^n D_{de,i}} \right] \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$G_{de,máx}$ *Maior grau de deterioração encontrado na família de elementos;*

$D_{de,i}$ *Graus de deterioração apresentados pelos elementos da família;*

m *Número de elementos.*

Introduzir o fator de relevância estrutural da família (Fr)

Este fator considera a importância de uma família de elementos no comportamento e desempenho da estrutura como um todo, variando conforme o sistema estrutural analisado. De acordo com a **Tabela 7**.

Tabela 7 - Fatores de relevância estrutural (Fr)

Família	F_r
Barreiras, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento	1
Juntas de dilatação	2
Transversales, cortinas, alas	3
Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio	4
Vigas e pilares principais	5

Fonte: Verly (2015).

Calcular o grau de deterioração da estrutura (Gd)

O grau de deterioração da estrutura é determinado pelos valores de Gdf de cada família ponderados pelos fatores de relevância estrutural (Fr). O produto Gdf x Fr destaca a importância da família na deterioração da estrutura. O maior produto Gdf x Fr é considerado o grau de deterioração aumentado da família - K. O valor de Gd pode ser calculado pela **Equação 5**.

$$G_d = \frac{K_{m\acute{a}x}}{7,07} * \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^k K_i) - K_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^k K_i}} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

- k Número de famílias da estrutura;
- K Produto do $G_{df,i}$ pelo respectivo Fr ;
- $K_{m\acute{a}x}$ Maior valor do produto do $G_{df,i}$ pelo respectivo Fr .

Para a **Equação 5**, serão utilizados todos os valores de Gde, conforme formulado por Verly (2015), diferentemente de outros autores que consideram apenas valores de Gde ≥ 15 para suas equações.

Após a definição do valor de Gd, assim como foi feito para cada elemento, a estrutura pode ser classificada em uma escala com a indicação do nível de deterioração e a recomendação de ações a serem tomadas, conforme a **Tabela 6**.

3.2.4 Método ZAG/COST

O método utilizado pelo Instituto Nacional Esloveno de Construção e Engenharia Civil (ZAG) para a avaliação de OAE se baseia nos resultados do Projeto COST 345 (2007). Esse método utiliza uma abordagem sistemática, com o objetivo de classificar e monitorar a condição de estruturas como pontes, viadutos e passarelas, visando garantir a segurança e a durabilidade das infraestruturas, especialmente em contextos onde fatores ambientais e de uso podem impactar significativamente sua integridade.

Inicialmente, as OAE são categorizadas de acordo com seu tipo e função, permitindo que os critérios de avaliação sejam adaptados às características específicas de cada estrutura. Inspeções regulares, realizadas por engenheiros qualificados, são fundamentais para identificar danos e deteriorações, como fissuras, corrosão e desagregação do concreto. Um dos principais aspectos do método é a utilização de parâmetros quantitativos, que facilitam a comparação entre inspeções da mesma estrutura. A atribuição de pontuações para diferentes tipos de danos ajuda a classificar as estruturas em categorias de risco, permitindo a priorização de intervenções de manutenção. Essa abordagem reduz a dependência de fatores humanos, como a qualificação do inspetor, e minimiza a interferência de um único dano na classificação geral da estrutura.

Além disso, o método considera as condições externas que podem afetar a durabilidade das OAE, como o ambiente em que estão localizadas e o volume de tráfego que suportam. Após as inspeções, um relatório detalhado é elaborado,

documentando as condições observadas, a pontuação atribuída e as recomendações para reparos ou manutenção, proporcionando um registro útil para futuras avaliações e planejamento de intervenções.

Segundo Giovannetti e Pinto (2014), o Método ZAG/COST oferece várias vantagens significativas, como a detecção precoce de problemas, eficiência na manutenção e aumento da vida útil das estruturas. A classificação das condições estruturais permite que recursos limitados sejam alocados de maneira eficaz, focando nas obras que necessitam de atenção imediata. No entanto, uma desvantagem é que a classificação pode ser contestável, especialmente devido à somatória de pequenos danos e à agregação de danos que ocorrem naturalmente ao longo do tempo, o que exige um cuidado adicional na interpretação dos resultados (GIOVANNETTI; PINTO, 2014).

A classificação da condição, representada pela variável (R) de uma ponte e/ou de seus componentes, é determinada pela **Equação 6** (COST 345, 2007). Para sua aplicação, o estudo de Giovannetti (2014) especifica, de forma clara e objetiva, os intervalos de avaliação correspondentes a cada fator da equação, conforme apresentado a seguir.

$$R = \sum V_D = \sum B_i * K_{1i} * K_{2i} * K_{3i} * K_{4i} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

V_D Valor que classifica o tipo de dano;

B_i Este fator, que varia de 1 a 5, representa o impacto potencial de um determinado tipo de dano na segurança e durabilidade do elemento estrutural afetado;

K_{1i} Este fator, cujos valores podem ser 0,3, 0,7 ou 1,0, representa a extensão do dano e define a importância do componente ou elemento estrutural para a segurança da estrutura como um todo. Por exemplo, uma trinca na calçada possui menor relevância em comparação a uma trinca em uma viga;

K_{2i} O valor deste fator, que varia de 0,4 a 1,0, reflete a intensidade do dano e é classificado em quatro níveis: I – leve (0,4), II – médio (0,6), III – grave (0,8) e IV – muito grave (1,0). Geralmente, cada tipo de dano é associado a um valor específico desse fator. Para essa avaliação, o Instituto ZAG adota as classificações de intensidade dos danos apresentadas na **Tabela 8**.

Tabela 8 - Índice K_{2i}

Dano	Intensidade do Dano			
	I	II	III	IV
Fissuras (Concreto armado e protendido)	<0,2 mm	0,2 - 0,4 mm	0,4 ≤ 0,6 mm	>0,6 mm
Fissuras (Concreto)	< 1mm	1- 10 mm	<20 mm	>20 mm
Baixo cobrimento (c)	$c \leq \frac{3}{4} c_{req}$	$c \leq \frac{1}{3} c_{req}$	$10 c < \frac{1}{3} c_{req}$, estribos aparentes	$c < \frac{1}{3} c_{req}$ armadura principal aparente.
Profundidade de carbonatação (pc)	$pc \leq \frac{1}{3} c$	$pc \leq \frac{2}{3} c$	pc na mesma profundidade dos estribos	pc na mesma profundidade da armadura principal
Desagregação (d)	$d \leq \frac{1}{3}$ cobrimento	$d \leq \frac{2}{3}$ cobrimento	d- De mesma profundidade das armaduras	d- Profundidade maior que a das armaduras
Corrosão das armaduras	corrosão superficial, até 5% da seção.	corrosão até 10% da seção.	corrosão entre 10% e 20% da seção.	corrosão > 20% da seção

Fonte: Giovannetti (2014).

K_{3i} O valor deste fator, que varia de 0,5 a 1,0, descreve a extensão do dano principal e é classificado com base na porcentagem dos elementos ou na área da superfície afetada. A classificação ocorre da seguinte forma: danos em elementos individuais (0,5), em

vários elementos (0,8) ou na maior parte da ponte (1,0). Geralmente, esse fator é atribuído a um ou mais componentes da ponte ou à estrutura como um todo;

K_{4i} O valor desse fator indica a urgência da intervenção necessária, variando de 0 a 10 (COST 345, 2007). Sua atribuição considera o tipo de estrutura, o nível de risco e as possíveis consequências de um colapso total ou parcial da ponte. Os valores são definidos da seguinte forma: medidas corretivas não são urgentes, pois o dano não compromete a segurança, funcionalidade e durabilidade da estrutura (1), medidas corretivas devem ser realizadas em até cinco anos (3), medidas corretivas devem ser implementadas imediatamente (5), o dano compromete gravemente a segurança da ponte, apresentando risco iminente de colapso (10).

A condição da ponte é classificada de acordo com o valor de R, como mostrado na **Tabela 9**, e o inspetor decide a classificação global de condição da ponte com base nessa avaliação.

Tabela 9 - Sistema de classificação utilizado pelo ZAG/COST

Classe de condição	Descrição da condição	Classificação de condição (R)
1	Crítico	>20
2	Ruim	14-22
3	Satisfatório	8-17
4	Bom	3-12
5	Muito bom	0-5

Fonte: COST 345 (2007).

4 MÉTODO

Para implementar e comparar os quatro diferentes métodos de classificação da degradação em OAE - SGO, NBR 9452/2019, GDE/UnB e ZAG/COST - foram utilizados relatórios de inspeção de OAE gerados pelo DNIT no ano de 2023. Esses relatórios contêm informações detalhadas sobre as estruturas inspecionadas, incluindo os resultados do método SGO. A avaliação visual concentrou-se em cinco OAE classificadas como críticas pelo método SGO. Os seguintes dados dos relatórios foram utilizados:

- **Dados Cadastrais:** Incluem informações essenciais sobre as estruturas inspecionadas, como o nome, localização, tipo de estrutura, sistema construtivo, material utilizado e principais características estruturais;
- **Resultados da Inspeção Mais Recente:** Detalhes das últimas inspeções realizadas, incluindo a data da inspeção, as principais observações e a classificação da condição estrutural;
- **Registros Fotográficos:** Imagens que documentam o estado atual das estruturas, incluindo vistas gerais e croquis das OAE;
- **Manifestações Patológicas Observadas:** Anotações sobre defeitos e problemas encontrados, tais como fissuras, infiltrações, corrosão de armaduras, deformações e outros sinais de deterioração que possam comprometer a integridade estrutural.

Esses dados proporcionaram uma visão global do estado atual das obras, essencial para a aplicação precisa de cada método utilizado neste trabalho.

Portanto, dos quatro métodos que serão comparados, os resultados do Método SGO não serão calculados diretamente. Serão utilizados para este método os resultados presentes nos relatórios já mencionados. Com os métodos restantes — NBR 9452/2019, GDE/UnB e ZAG/COST — serão realizadas as avaliações necessárias, permitindo, assim, uma comparação detalhada das OAE. Para esse fim, foram utilizadas as normas e especificações mencionadas no capítulo anterior, destacando-se que, no caso do método NBR 9452/2019, foi adotado o tipo de

inspeção especial, que, conforme as diretrizes da norma, é o mais adequado para o tipo e as condições das OAE analisadas.

No item a seguir, serão apresentadas as OAE avaliadas neste trabalho.

4.1 Estudos de Caso

As cinco OAE estudadas estão localizadas no estado da Bahia (BA), sendo quatro pontes e um viaduto. Todas receberam uma classificação de 1 (crítica) pelo sistema SGO.

4.1.1 OAE-01: Ponte sobre o Rio do Peixe

A primeira obra escolhida foi a Ponte sobre o Rio do Peixe, localizada nas proximidades da cidade de Itaberaba, no km 162,15 da BR-242, no estado da Bahia. A ponte possui um comprimento de 80,75 m e uma largura de 10,10 m, conforme mostrado na **Figura 11 (a)**.

A inspeção desta obra foi realizada no dia 3 de outubro de 2020. Não há informações disponíveis sobre o ano de sua construção. A ponte em questão enfrenta uma alta frequência de carga pesada, apresentando diversas deficiências funcionais significativas. Entre elas, destacam-se a ausência de sinalização vertical, a instalação inadequada de tubulações na estrutura, a falta de barreiras New Jersey e a ancoragem inadequada do dispositivo de segurança (defesa metálica).

Os problemas principais observados durante a inspeção incluem pilares de concreto armado com concreto desagregado e armadura exposta e oxidada como se observa na **Figura 11 (b)**, além de armadura principal muito oxidada em pontos localizados. Adicionalmente, foram identificadas vigas T ou I de concreto armado com armadura principal em avançado estado de oxidação, concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, além de sinais de infiltração, ação biológica e manchas de umidade.

Figura 11 - Ponte sobre o Rio do Peixe. (a) Vista inferior; (b) Pilar com concreto desagregado e armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023a)

4.1.2 OAE-02: Ponte sobre o Rio Capivari

A segunda obra escolhida foi a Ponte sobre o Rio Capivari, localizada nas proximidades da cidade de Itaberaba, no km 188,46 da BR-242, no estado da Bahia. A ponte possui um comprimento de 51,75 m e uma largura de 10,00m, conforme mostrado na **Figura 12**.

Figura 12 - Ponte sobre o Rio Capivari – Vista inferior lateral



Fonte: DNIT (2023b)

A inspeção desta obra foi realizada no dia 2 de outubro de 2020. Não há informações disponíveis sobre o ano de sua construção. A ponte em questão enfrenta uma alta frequência de carga pesada, apresentando diversas deficiências funcionais significativas. Entre elas, destacam-se a ausência de acostamento, pingadeiras inexistentes, ausência de delineadores e marcadores de sinalização e guarda-rodas obsoletas.

Os problemas principais observados durante a inspeção incluem vigas T ou I de concreto armado, transversinas de concreto armado e pilares em concreto armado com concreto desagregado com armaduras expostas e corroídas, perda de seção, infiltração no concreto, lixiviação e manchas de carbonatação, conforme observado na **Figura 13**.

Figura 13 - Principais problemáticas. (a) Pilar com concreto desagregado com armadura principal muito oxidada; (b) Viga T e Transversina com armadura sem cobertura e oxidada



Fonte: DNIT (2023b)

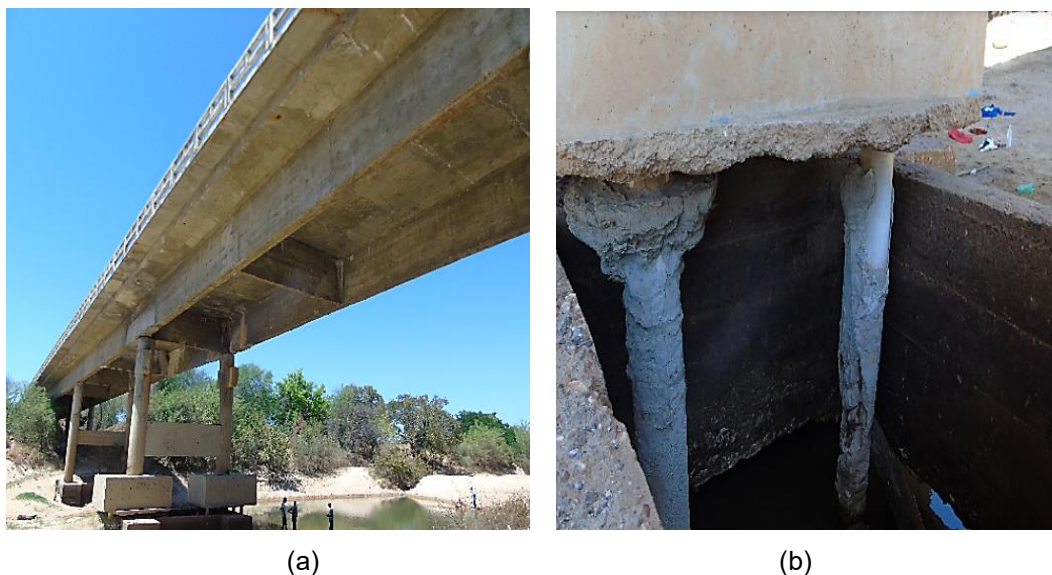
4.1.3 OAE-03: Ponte sobre o Rio Paramirim

A terceira obra escolhida foi a Ponte sobre o Rio Paramirim, localizada nas proximidades da cidade de Ibotirama, no km 537,79 da BR-242, no estado da Bahia. A ponte possui um comprimento de 152,40 m e uma largura de 10,05 m, conforme mostrado na **Figura 14 (a)**.

A inspeção desta obra foi realizada no dia 28 de setembro de 2020. Não há informações disponíveis sobre o ano de sua construção. A ponte em questão enfrenta uma alta frequência de carga pesada, apresentando diversas deficiências funcionais significativas. Entre elas, destacam-se a ausência de acostamento, drenagem de pista insuficiente e guarda-rodas obsoletas.

Os principais problemas observados durante a inspeção devem-se à grande intensidade da força de arrasto, que aumenta o poder erosivo da água. Isso faz com que a água atinja maiores profundidades no leito do rio, causando o solapamento das fundações das estacas. Além disso, foi verificada a presença de concreto desagregado com armaduras expostas e oxidadas, conforme mostrado na **Figura 14 (b)**.

Figura 14 - Ponte sobre o Rio Paramirim. (a) Vista inferior lateral; (b) Estaca de C.A. desconfinada com a armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023c)

4.1.4 OAE-04: Ponte sobre o Rio Jequitinhonha

A quarta obra escolhida foi a Ponte sobre o Rio Jequitinhonha, localizada nas proximidades da cidade de Itapebi, no km 661,72 da BR-101, no estado da Bahia, observada na **Figura 15 (a)**. A ponte possui um comprimento de 510,25 m e uma largura de 9,80 m.

A ponte, construída em 1965, passou por sua última inspeção no dia 16 de novembro de 2020. Durante esta inspeção, várias deficiências funcionais significativas foram identificadas. Entre elas, destacam-se a ausência de acostamento, a inexistência de pingadeira, a ausência do guarda-rodas e a falta de identificação do aparelho de apoio.

Entre os problemas detectados, destacam-se: trincas ou fissuras de grande abertura na laje de concreto armado; deterioração acentuada dos materiais de construção nas vigas T ou I e na transversina; presença de armadura rompida, concreto desagregado com armadura exposta, ruptura, fissura profunda aberta, infiltração, lixiviação e manchas de carbonatação na transversina portante de concreto armado; estacas desconfinadas; ruptura total do guarda-corpo de concreto armado; e danos nas juntas de dilatação, resultando na percolação de água nos elementos principais da superestrutura.

Na **Figura 15 (b)** e **Figura 16**, podem ser observadas algumas das patologias apresentadas na ponte.

Figura 15 - Ponte sobre o Rio Jequitinhonha. (a) Vista inferior lateral; (b) Estaca desconfinada



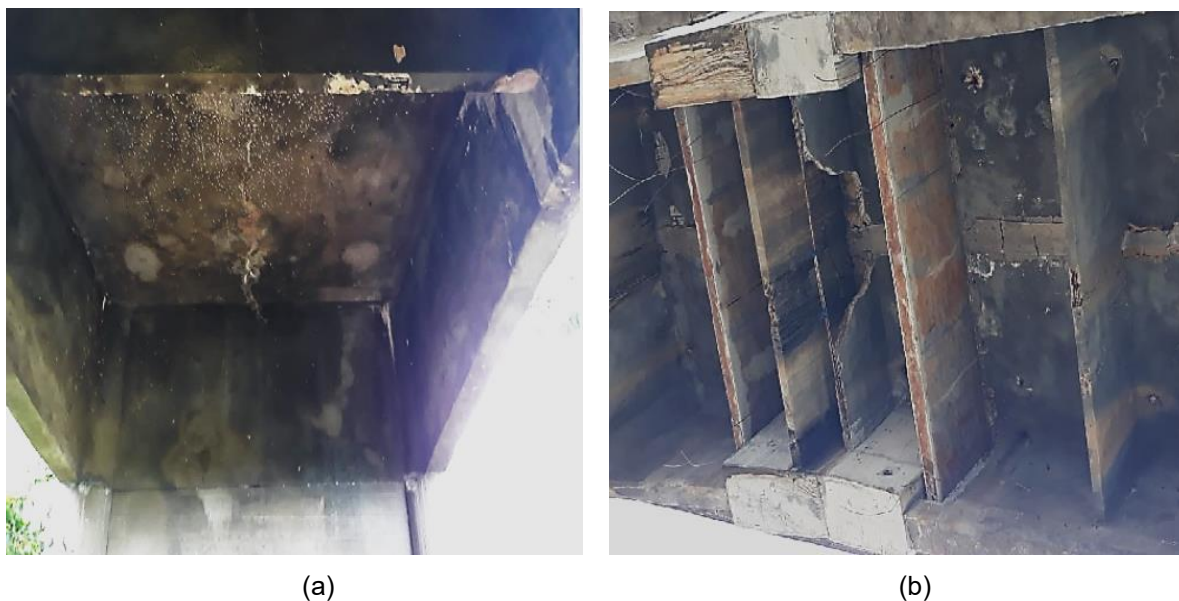
(a)



(b)

Fonte: DNIT (2023d)

Figura 16 - Patologias apresentadas. (a) Laje com fissura profunda fina, lixiviação e mancha de carbonatação; (b) Transversina com concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, rompimento da transversina



Fonte: DNIT (2023d)

4.1.5 OAE-05: Viaduto km 217,24 sobre Ferrovia

A quinta obra escolhida foi o Viaduto km 217,24 sobre Ferrovia, localizada nas proximidades da cidade de Governador Mangabeira, no km 217,24 da BR-101, no estado da Bahia, observada na **Figura 17**. O viaduto possui um comprimento de 19,2m e uma largura de 9,95m.

O viaduto, construído em 1965, passou por sua última inspeção no dia 04 de novembro de 2020. O viaduto em questão enfrenta uma alta frequência de carga pesada, apresentando diversas deficiências funcionais significativas. Entre elas, destacam-se a ausência de acostamento, a inexistência de pingadeira, a ausência do guarda-rodas e a falta de identificação do aparelho de apoio.

Entre os problemas detectados, destacam-se a deterioração da laje de concreto armado e da viga de contraventamento de concreto armado, com concreto desagregado, armaduras expostas e corroídas, perda de seção e rompimento de armaduras, bem como infiltração, lixiviação e manchas de fogo e de carbonatação no concreto, conforme mostrado na **Figura 18**.

Figura 17 - Viaduto km 217,24 sobre Ferrovia – Vista superior



Fonte: DNIT (2023e)

Figura 18 - Patologias apresentadas. (a) Pilar com mancha de fogo; (b) Laje com concreto desagregado, armaduras expostas e oxidadas, além de armaduras rompidas



(a)



(b)

Fonte: DNIT (2023e)

4.2 Comparação dos métodos

A comparação entre os métodos avaliados neste estudo – o Método SGO, NBR 9452/2019, GDE/UnB e ZAG/COST – foi realizada ao longo da análise dos resultados, levando em consideração as características de cada um. Observou-se que alguns apresentaram características semelhantes, como o GDE/UnB e o ZAG/COST, ambos quantitativos, o que possibilitou uma comparação direta por meio de representações gráficas.

Por outro lado, a norma NBR 9452 (ABNT, 2019), de natureza qualitativa, foi mais facilmente comparada com o SGO, uma vez que ambos não dependem de dados precisos.

Ao final dessas comparações, foi possível relacionar todos os métodos, considerando suas particularidades, e, com base nesse processo, concluir de maneira detalhada sobre a aplicabilidade, eficácia e precisão dos resultados de cada um.

5 RESULTADOS

No presente capítulo, são apresentados os resultados das análises com base nos métodos e normas adotados para avaliação das pontes. Inicialmente, são expostos os resultados pela norma NBR 9452 (ABNT, 2019), seguidos pelos métodos GDE/UnB e ZAG/COST. Cada seção resume os dados coletados, oferecendo uma visão geral do desempenho de cada abordagem.

5.1 Resultados pela norma de inspeção NBR 9452 (ABNT, 2019)

As Tabelas 10 a 14 apresentam os resumos dos resultados individuais das OAE obtidos por meio da metodologia da NBR 9452 (ABNT, 2019).

Tabela 10 - Resultado para a OAE-01 pela metodologia NBR 9452/2019

Parâmetro	Elemento						Nota final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	2	2	0	3	4	5	2
Funcional	0	NA	NA	1	0	2	1
Durabilidade	1	1	0	3	3	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 11 - Resultado para a OAE-02 pela metodologia NBR 9452/2019

Parâmetro	Elemento						Nota final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	2	2	0	3	0	5	2
Funcional	0	NA	NA	1	0	2	1
Durabilidade	1	0	0	3	4	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 12 - Resultado para a OAE-03 pela metodologia NBR 9452/2019

Parâmetro	Elemento						Nota final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	2	2	2	3	2	5	2
Funcional	0	NA	NA	1	0	2	1
Durabilidade	1	1	1	3	1	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 - Resultado para a OAE-04 pela metodologia NBR 9452/2019

Parâmetro	Elemento						Nota final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	2	2	2	2	0	5	2
Funcional	0	NA	NA	1	0	2	1
Durabilidade	1	3	1	3	0	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 14 - Resultado para a OAE-05 pela metodologia NBR 9452/2019

Parâmetro	Elemento						Nota final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	2	2	0	2	2	5	2
Funcional	0	NA	NA	1	0	2	1
Durabilidade	1	1	0	1	1	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, na **Tabela 15**, é apresentado o resumo dos resultados obtidos pela metodologia da NBR 9452 (ABNT, 2019). Nela, observa-se que essa metodologia se limita a categorizar as OAE em três notas, cada um referente à avaliação estrutural, funcional e de durabilidade.

Tabela 15 - Resumo dos resultados classificativos das OAE com a metodologia da NBR 9452/2019

N°	Nome da OAE	Estrutural		Funcional		Durabilidade	
		Nota	avaliação	Nota	avaliação	Nota	avaliação
Ponte 1	Ponte sobre o Rio do Peixe	2	Ruim	1	Crítica	1	Crítica
Ponte 2	Ponte sobre o Rio Capivari	2	Ruim	1	Crítica	1	Crítica
Ponte 3	Ponte sobre o Rio Paramirim	2	Ruim	1	Crítica	1	Crítica
Ponte 4	Ponte sobre o Rio Jequitinhonha	2	Ruim	1	Crítica	1	Crítica
Viaduto	Viaduto km 217,24 sobre Ferrovia	2	Ruim	1	Crítica	1	Crítica

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os resultados das cinco OAE avaliadas por meio da metodologia NBR 9452 (ABNT, 2019), verificou-se que todas obtiveram a mesma classificação: nota 2 na avaliação estrutural, correspondente à categoria Ruim. Isso indica a presença de danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, embora sem risco iminente de colapso. No entanto, a progressão desses danos pode levar ao colapso estrutural, tornando necessárias intervenções significativas a curto prazo.

A avaliação funcional resultou em nota 1, correspondente à categoria Crítica, o que indica que a OAE não possui condições adequadas de utilização. Além disso, a durabilidade também recebeu nota 1, sinalizando um elevado grau de deterioração, com problemas que representam risco estrutural e/ou funcional. Contudo, todas as OAE tiveram a mesma classificação e a norma não especifica qual deve ser priorizada para manutenção e/ou recuperação.

5.2 Resultados pelo método GDE/UnB

Nas Tabelas 16 a 20, são apresentados os resumos dos resultados obtidos pela metodologia GDE/UnB já incluindo as modificações propostas por Verly (2015).

Tabela 16 - Resultado do cálculo do Gd para a OAE-01 pela metodologia GDE/UnB

Família	F_r	$G_{de,máx}$	G_{df}
Pilares	5	139,32	176,60
Vigas e transversinas.	5	150,98	198,58
Lajes.	4	122,26	160,86
Guarda-corpos, barreiras e guarda-rodas.	1	56,74	69,32
Cortinas e alas	3	65,71	81,66
Blocos de fundação.	4	0	0
Juntas de dilatação.	2	100	122,47
Pista de rolamento.	1	12	15,49
	G_d		181,98

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 17 - Resultado do cálculo do Gd para a OAE-02 pela metodologia GDE/UnB

Família	F_r	$G_{de,máx}$	G_{df}
Pilares	5	166,67	200,13
Vigas e transversinas.	5	151,92	205,48
Lajes.	4	78,72	103,80
Guarda-corpos, barreiras e guarda-rodas.	1	84	107,02
Cortinas e alas	3	24	24
Blocos de fundação.	4	0	0
Juntas de dilatação.	2	100	122,47
Pista de rolamento.	1	46,67	46,67
	G_d		186,52

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 18 - Resultado do cálculo do Gd para a OAE-03 pela metodologia GDE/UnB

Família	F_r	$G_{de,máx}$	G_{df}
Pilares	5	55	71
Vigas e transversinas.	5	60,77	82,26
Lajes.	4	134,92	182,48
Guarda-corpos, barreiras e guarda-rodas.	1	90,97	110,85
Cortinas e alas	3	157,63	179,32
Blocos de fundação.	4	150,98	175,32
Juntas de dilatação.	2	100	122,47
Pista de rolamento.	1	46,67	61,73
	G_d		137,29

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 19 - Resultado do cálculo do Gd para a OAE-04 pela metodologia GDE/UnB

Família	F_r	$G_{de,máx}$	G_{df}
Pilares	5	96,92	122,75
Vigas e transversinas.	5	164,29	219,06
Lajes.	4	155,20	212,00
Guarda-corpos, barreiras e guarda-rodas.	1	100,43	125,46
Cortinas e alas	3	0	0
Blocos de fundação.	4	154,55	212,36
Juntas de dilatação.	2	100	137,84
Pista de rolamento.	1	46,67	49,96
	G_d		202,94

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 20 - Resultado do cálculo do Gd para a OAE-05 pela metodologia GDE/UnB

Família	F_r	$G_{de,máx}$	G_{df}
Pilares	5	56,74	64,63
Vigas e transversinas.	5	164,89	205,18

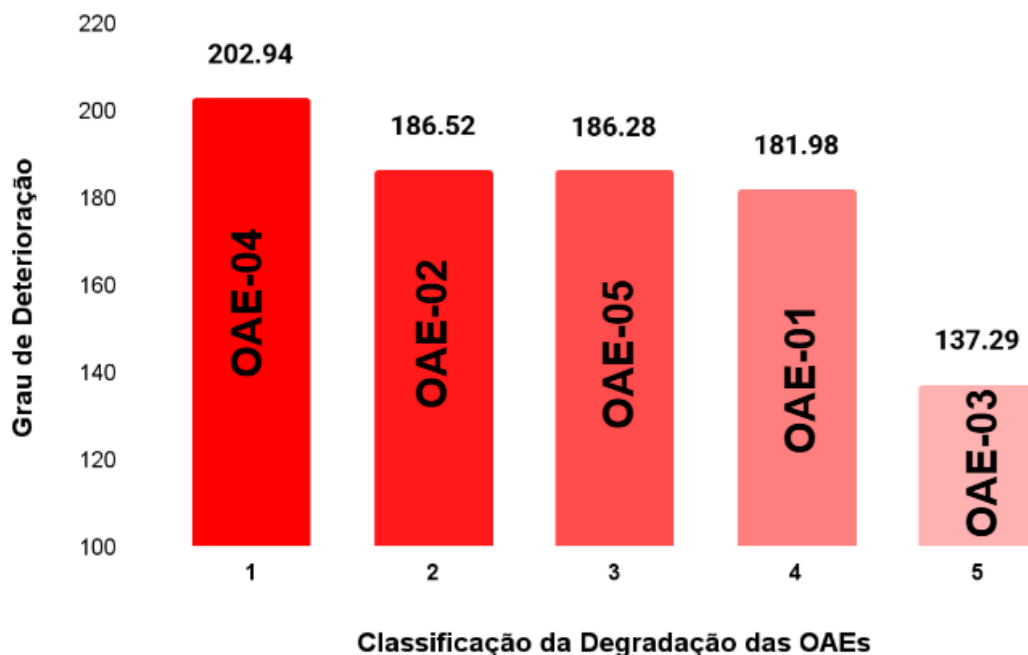
Continuação Tabela 20

Família	F_r	$G_{de,máx}$	G_{df}
Lajes.	4	163,77	206,64
Guarda-corpos, barreiras e guarda-rodas.	1	154,55	154,55
Cortinas e alas	3	95,81	113,04
Blocos de fundação.	4	0	0
Juntas de dilatação.	2	100	122,47
Pista de rolamento.	1	0	0
	G_d		186,28

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os resultados das cinco OAE avaliadas, constata-se que estão em um estado de deterioração crítica, pois seus valores de G_d ultrapassam o valor de 100. Diante disso, recomenda-se a realização imediata de uma inspeção especializada e a adoção de medidas emergenciais, como alívio de cargas e escoramento.

Figura 19 - Classificação da Degradação das OAE em Nível Crítico, pelo método GDE/UnB



Fonte: Elaborado pelo autor.

Contrariamente ao método do DNIT e o método da norma de inspeção NBR 9452 (ABNT, 2019), esta metodologia permite elaborar uma ordem de prioridade das OAE, mesmo quando apresentam o mesmo nível de deterioração, variando do menos favorável ao mais favorável. Portanto, como ilustra o gráfico da **Figura 19**, a ponte sobre o rio Jequitinhonha, deve ser priorizada para manutenção e/ou recuperação.

5.3 Resultados pelo método ZAG/COST

As **Tabelas 21 a 25** apresentam os resumos dos resultados obtidos pelo método ZAG/COST, para as OAE analisadas.

Tabela 21 - Resultado da classificação da condição (R) para a OAE-01, utilizando o método ZAG/COST

Elemento estrutural	Dano	Bi	K1	K2	K3	K4	V _D
Lajes	Fissura	5.00	1.00	1.00	0.80	10.00	40.00
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	1.00	1.00	5.00	25.00
	Lixiviação	3.00	0.70	0.60	1.00	3.00	3.78
	Desagregação do concreto	4.00	0.70	0.80	0.50	5.00	5.60
Vigas longarinas	Nicho de concretagem	3.00	0.70	0.40	0.80	3.00	2.02
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	0.60	0.80	3.00	7.20
	Desagregação do concreto	4.00	1.00	0.60	0.80	3.00	5.76
Vigas transversinas	Nicho de concretagem	3.00	0.70	0.60	0.80	3.00	3.02
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	0.60	0.80	3.00	7.20
	Desagregação do concreto	3.00	0.70	0.60	0.80	3.00	3.02
Vigas travessas	Nicho de concretagem	3.00	0.70	0.60	0.50	3.00	1.89
	Corrosão da armadura	4.00	1.00	0.80	0.50	3.00	4.80

Continuação Tabela 21

Elemento estrutural	Dano	Bi	K1	K2	K3	K4	V _b
Vigas travessas	Desagregação do concreto	3.00	1.00	0.60	0.50	3.00	2.70
Pilares	Nicho de concretagem	4.00	0.70	1.00	0.80	5.00	11.20
	Umidade	3.00	0.70	0.80	1.00	3.00	5.04
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	1.00	1.00	5.00	25.00
	Desagregação do concreto	4.00	1.00	1.00	1.00	5.00	20.00
Guarda roda	Corrosão da armadura	2.00	0.30	0.60	0.50	1.00	0.18
	Desplacamento do concreto	1.00	0.30	0.60	0.50	1.00	0.09
pavimento	Junta danificada	3.00	0.70	0.80	1.00	1.00	1.68
	Buraco	2.00	0.30	0.40	0.50	1.00	0.12
Barreira	Quebrada	3.00	0.30	0.60	0.80	1.00	0.43
Cortina	Lixiviação	3.00	0.30	0.40	0.50	3.00	0.54
	Umidade	3.00	0.30	0.60	0.80	3.00	1.30
	Nicho de concretagem	3.00	0.70	0.60	0.80	3.00	3.02
	Corrosão da armadura	3.00	1.00	1.00	0.80	3.00	7.20
R							187.80

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 22 - Resultado da classificação da condição (R) para a OAE-02, utilizando o método ZAG/COST

Elemento estrutural	Dano	Bi	K1	K2	K3	K4	V _b
Lajes	Corrosão da armadura	5.00	1.00	0.40	0.50	3.00	3.00
	Umidade	3.00	0.30	0.40	0.50	3.00	0.54
	Lixiviação	3.00	0.70	0.40	0.50	3.00	1.26

Continuação Tabela 22

Elemento estrutural	Dano	Bi	K1	K2	K3	K4	Vb
	Desagregação do concreto	5.00	1.00	0.40	0.50	3.00	3.00
Vigas longarinas	Nicho de concretagem	3.00	0.70	0.60	0.50	5.00	3.15
	Desagregação do concreto	5.00	1.00	0.60	0.50	5.00	7.50
Vigas transversinas	Nicho de concretagem	3.00	1.00	0.80	0.80	5.00	9.60
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	0.60	0.80	5.00	12.00
	Lixiviação	3.00	0.70	0.60	0.50	3.00	1.89
	Desagregação do concreto	5.00	1.00	0.60	0.80	5.00	12.00
Vigas travessas	Nicho de concretagem	2.00	0.70	0.40	0.50	3.00	0.84
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	0.60	0.50	3.00	4.50
	Desagregação do concreto	5.00	1.00	0.60	0.50	3.00	4.50
Pilares	Nicho de concretagem	3.00	1.00	0.80	1.00	10.00	24.00
	Umidade	5.00	1.00	1.00	1.00	10.00	50.00
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	1.00	1.00	10.00	50.00
	Desagregação do concreto	5.00	1.00	1.00	1.00	10.00	50.00
Guarda roda	Corrosão da armadura	2.00	0.30	0.60	0.80	3.00	0.86
	Desplacamento do concreto	2.00	0.30	0.60	0.80	3.00	0.86
pavimento	Junta danificada	3.00	0.30	0.60	0.80	3.00	1.30
	Buraco	2.00	0.30	0.40	0.50	3.00	0.36
Barreira	Quebrada	1.00	0.30	0.60	0.80	1.00	0.14

Continuação Tabela 22

Elemento estrutural	Dano	Bi	K1	K2	K3	K4	V _b
Cortina	Umidade	1.00	0.30	0.40	0.50	1.00	0.06
			R				248.87

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 23 - Resultado da classificação da condição (R) para a OAE-03, utilizando o método ZAG/COST

Elemento estrutural	Dano	Bi	K1	K2	K3	K4	V _b
Lajes	Fissura	5.00	1.00	1.00	0.80	10.00	40.00
	Corrosão da armadura	5.00	0.70	0.60	0.80	5.00	8.40
	Lixiviação	3.00	0.30	0.60	0.80	3.00	1.30
	Desagregação do concreto	4.00	0.70	0.60	0.80	3.00	4.03
Vigas longarinas	Armadura exposta	5.00	0.30	0.40	0.80	3.00	1.44
	Corrosão da armadura	5.00	0.30	0.40	0.80	3.00	1.44
	Eflorescência	2.00	0.30	0.40	0.80	3.00	0.58
Vigas transversinas	Armadura exposta	5.00	0.30	0.40	0.80	3.00	1.44
	Corrosão da armadura	5.00	0.30	0.40	0.80	3.00	1.44
	Eflorescência	2.00	0.30	0.40	0.80	3.00	0.58
Vigas travessas	Armadura exposta	4.00	0.30	0.40	0.80	3.00	1.15
	Corrosão da armadura	4.00	0.30	0.40	0.80	3.00	1.15
	Eflorescência	2.00	0.30	0.40	0.80	3.00	0.58
Pilares	Armadura exposta	5.00	0.30	0.40	0.50	1.00	0.30
	Desplacament o do concreto	5.00	0.30	0.40	0.50	1.00	0.30
Guarda roda	Corrosão da armadura	2.00	0.30	0.60	0.80	3.00	0.86

Continuação Tabela 23

Elemento estrutural	Dano	Bi	K1	K2	K3	K4	V _d
Guarda roda	Desplacamento do concreto	2.00	0.30	0.60	0.50	3.00	0.54
pavimento	Junta danificada	3.00	0.30	0.60	0.80	3.00	1.30
	Buraco	1.00	0.30	0.40	0.80	3.00	0.29
Barreira	Quebrada	2.00	0.30	0.60	0.80	3.00	0.86
Cortina	Lixiviação	2.00	0.30	0.60	0.80	3.00	0.86
	Umidade	1.00	0.30	0.60	0.80	3.00	0.43
	Nicho de concretagem	3.00	0.30	0.40	0.80	5.00	1.44
	Corrosão da armadura	3.00	0.30	0.60	0.80	5.00	2.16
R							72.87

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 24 - Resultado da classificação da condição (R) para a OAE-04, utilizando o método ZAG/COST

Elemento estrutural	Dano	Bi	K1	K2	K3	K4	V _d
Lajes	Fissura	5.00	1.00	1.00	0.50	10.00	25.00
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	1.00	1.00	5.00	25.00
	Lixiviação	3.00	0.70	0.80	1.00	3.00	5.04
	Desagregação do concreto	5.00	1.00	0.80	0.80	5.00	16.00
Vigas longarinas	Desplacamento do concreto	4.00	0.30	0.40	0.50	5.00	1.20
	Corrosão da armadura	5.00	0.30	0.40	0.50	5.00	1.50
Vigas transversinas	Umidade	2.00	0.70	1.00	1.00	3.00	4.20
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	1.00	1.00	10.00	50.00
	Rompimento	5.00	1.00	1.00	0.80	10.00	40.00

Continuação Tabela 24

Elemento estrutural	Dano	Bi	K1	K2	K3	K4	V _D
Vigas transversinas	Desagregação do concreto	5.00	1.00	1.00	1.00	10.00	50.00
Vigas travessas	Nicho de concretagem	5.00	1.00	0.40	0.50	3.00	3.00
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	0.40	0.50	3.00	3.00
	Desagregação do concreto	5.00	1.00	0.40	0.50	3.00	3.00
Pilares	Umidade	4.00	0.70	0.60	0.80	3.00	4.03
	Corrosão da armadura	5.00	0.70	0.60	0.80	5.00	8.40
	Desagregação do concreto	5.00	0.70	0.60	0.80	5.00	8.40
Guarda roda	Corrosão da armadura	2.00	0.30	0.40	0.80	3.00	0.58
	Desplacamento do concreto	2.00	0.30	0.60	0.80	3.00	0.86
pavimento	Junta danificada	3.00	0.70	0.40	0.80	3.00	2.02
	Buraco	2.00	0.30	0.40	0.50	3.00	0.36
Barreira	Quebrada	2.00	0.30	0.60	0.80	3.00	0.86
Blocos de fundação	Desagregação do concreto	5.00	1.00	1.00	1.00	5.00	25.00
	Umidade	3.00	1.00	1.00	1.00	5.00	15.00
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	1.00	1.00	5.00	25.00
R							317.45

Tabela 25 - Resultado da classificação da condição (R) para a OAE-05, utilizando o método ZAG/COST

Elemento estrutural	Dano	Bi	K1	K2	K3	K4	V _D
Lajes	Armadura rompida	5.00	1.00	1.00	0.50	5.00	12.50

Continuação Tabela 25

Elemento estrutural	Dano	Bi	K1	K2	K3	K4	V _D
Lajes	Corrosão da armadura	5.00	1.00	1.00	1.00	10.00	50.00
	Lixiviação	2.00	1.00	1.00	1.00	5.00	10.00
	Desagregação do concreto	5.00	1.00	1.00	1.00	5.00	25.00
Vigas travessas	Deslocamento do concreto	5.00	1.00	0.60	0.80	5.00	12.00
	Fissura	5.00	1.00	1.00	0.50	10.00	25.00
	Corrosão da armadura	5.00	1.00	0.60	0.80	5.00	12.00
	Desagregação do concreto	5.00	1.00	0.60	0.80	5.00	12.00
Pilares	Mancha de fogo	1.00	0.30	0.60	0.80	1.00	0.14
	Corrosão da armadura	5.00	0.70	0.40	0.50	5.00	3.50
	Desagregação do concreto	5.00	0.30	0.40	0.50	5.00	1.50
Guarda roda	Corrosão da armadura	2.00	0.30	0.40	0.50	3.00	0.36
	Deslocamento do concreto	2.00	0.30	0.40	0.50	3.00	0.36
pavimento	Junta danificada	2.00	0.30	0.40	0.50	5.00	0.60
	Buraco	1.00	0.30	0.40	0.50	3.00	0.18
Barreira	Quebrada	2.00	0.30	0.40	0.80	3.00	0.58
Cortina	Lixiviação	2.00	0.70	0.40	0.50	3.00	0.84
	Desagregação do concreto	4.00	1.00	0.40	0.50	5.00	4.00
	Corrosão da armadura	4.00	1.00	0.40	0.50	5.00	4.00
			R				174.56

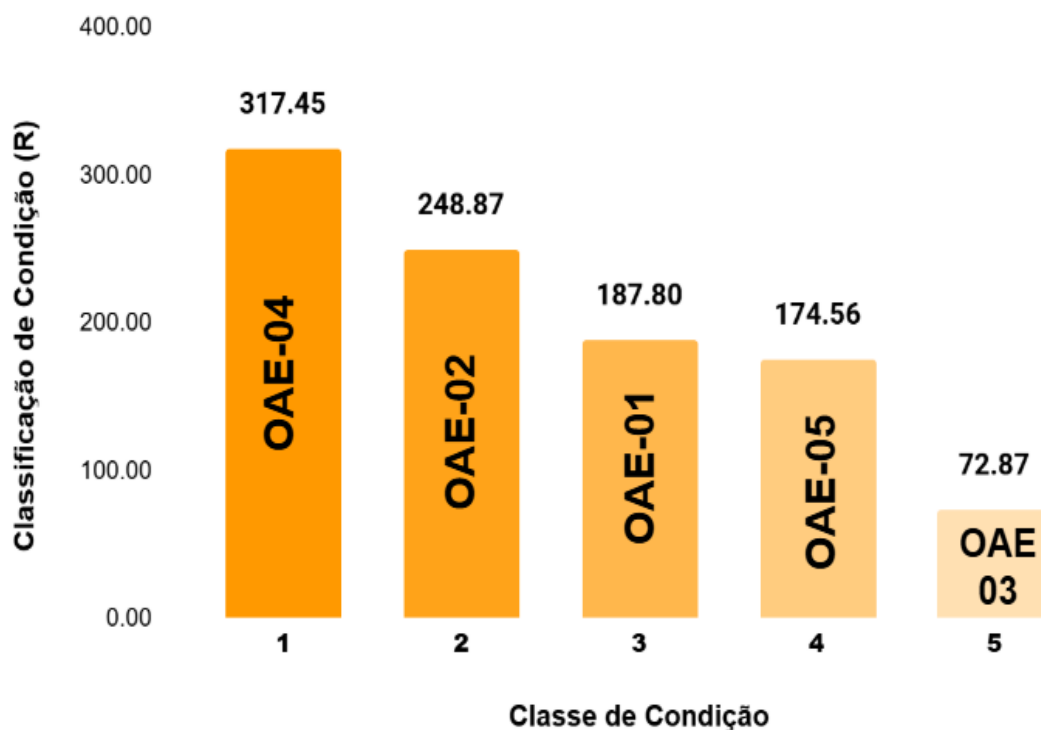
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os resultados das cinco OAE avaliadas pelo método ZAG/COST, observa-se, com o suporte da **Tabela 9**, que todas se enquadram na classe de condição crítica, uma vez que seus valores de R ultrapassam 20. Diante desse cenário, recomenda-se a adoção imediata de medidas emergenciais.

Este método, assim como o método GDE/UnB, permite priorizar a classificação das OAE, mesmo quando estas apresentam a mesma classe de condição, conforme ilustrado no gráfico da **Figura 20**. Igualmente ao método GDE/UnB, a ponte sobre o rio Jequitinhonha deve ser priorizada para manutenção e/ou recuperação.

Ao comparar os resultados do método GDE/UnB na **Figura 19** com os resultados do método ZAG/COST na **Figura 20**, observa-se que ambos apresentaram classificações de priorização bastante semelhantes. Embora haja uma diferença na priorização das OAE 01 e 05, essa variação não é significativa neste contexto, devido à proximidade das classificações.

Figura 20 - Classificação da Degradação das OAE em Nível Crítico pelo método ZAG/COST



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Comparação dos Resultados e Sugestões

Com base nos resultados obtidos, observa-se que cada método apresenta características próprias, com diferentes níveis de precisão, aplicabilidade e confiabilidade. A seguir, são sintetizadas as principais observações sobre cada abordagem, com ênfase em suas limitações, pontos fortes e sugestões para aprimoramento.

SGO (DNIT): O método atualmente utilizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes apresenta limitações significativas quanto à priorização de OAE críticas. O uso exclusivo do Volume Médio Diário (VMD) como critério de categorização impede a diferenciação entre estruturas com distintos níveis de deterioração, especialmente quando situadas na mesma rodovia. Tal abordagem compromete a segurança dos usuários e reforça a necessidade de uma revisão urgente do sistema, com a adoção de critérios técnicos mais abrangentes e eficazes para a gestão de pontes e viadutos.

NBR 9452 (ABNT, 2019): A norma técnica vigente apresenta uma metodologia de avaliação estrutural baseada em três notas distintas (estrutural, funcional e de durabilidade), mas sua aplicação prática é dificultada pela complexidade e pela falta de clareza nos critérios de emergência. A rigidez de seus parâmetros pode atrasar intervenções importantes, além de superestimar o grau de deterioração em algumas situações. Um exemplo ilustrativo é a classificação de nota 2 com 20% de perda da área de aço e nota 1 apenas quando há ruptura — o que evidencia uma abordagem reativa, em vez de preventiva. O método, embora válido, exige revisão para possibilitar respostas mais ágeis e eficazes às condições reais das estruturas.

GDE/UnB: Esta metodologia destacou-se como a mais eficaz, precisa e prática entre as analisadas. Sua estrutura rigorosa e os critérios bem definidos permitem a identificação não apenas das OAE mais críticas, mas também dos elementos e famílias com maior grau de deterioração. Além disso, o método considera todas as patologias observadas, mesmo as de menor escala, permitindo uma avaliação detalhada e orientada à intervenção estratégica. Apesar de sua aplicação ainda recente, o GDE/UnB apresenta alto potencial de confiabilidade e se mostra promissor

como modelo padrão para gestão de pontes no Brasil, desde que seus parâmetros continuem sendo revisados e validados.

ZAG/COST: Embora este método permita a priorização entre OAE com níveis semelhantes de deterioração, seu uso prático esbarra na subjetividade da avaliação. A forte dependência da interpretação do inspetor pode gerar inconsistências significativas entre diferentes análises. Além disso, a multiplicidade de patologias tende a inflar a nota final, classificando estruturas em condições piores do que a realidade. A sugestão de agrupar patologias em torno de um defeito principal pode mitigar esse efeito, mas também introduz instabilidade nos resultados. Assim, o método carece de refinamento técnico para reduzir variações e aumentar a confiabilidade das avaliações.

Tabela 26 - Comparação dos métodos segundo critérios técnicos relevantes

Critério	SGO (DNIT)	NBR 9452 (2019)	GDE/UnB	ZAG/COST
Prioriza OAE críticas na mesma categoria	✗ Não	✗ Não	✓ Sim	✓ Sim
Clareza e objetividade dos critérios	✗ Baixa	⚠ Média-baixa	✓ Alta	⚠ Média
Risco de superestimação/subestimação	⚠ Subestima	⚠ Superestima	✓ Baixo	⚠ Superestima
Precisão técnica	✗ Baixa	⚠ Média	✓ Alta	⚠ Média
Praticidade de aplicação	✓ Sim (limitada)	✗ Complexa	✓ Alta	⚠ Média
Dependência da interpretação do avaliador	✓ Baixa	✓ Baixa	✓ Baixa	✗ Alta
Adequação à gestão preventiva	✗ Não	⚠ Parcial	✓ Sim	⚠ Parcial
Necessidade de atualização	✓ Alta (necessária)	✓ Alta (necessária)	⚠ Moderada	✓ Alta (necessária)

✓ Sim, ⚠ Parcial, ✗ Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, a **Tabela 26** reforça os achados apresentados anteriormente, evidenciando que, entre os métodos analisados, o GDE/UnB se destaca como a opção mais equilibrada em termos de precisão, clareza metodológica e aplicabilidade prática. Por outro lado, os métodos SGO e NBR 9452 revelam limitações significativas que comprometem sua efetividade na priorização de OAE críticas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa permitiu uma análise crítica dos principais métodos de avaliação e priorização de intervenções em Obras de Arte Especiais (OAE), com base em critérios como precisão técnica, clareza dos parâmetros e aplicabilidade prática.

Os resultados evidenciaram que os métodos atualmente utilizados no Brasil, como o SGO (DNIT) e a NBR 9452, apresentam limitações significativas, especialmente na priorização de OAE críticas e na gestão preventiva. Já os métodos ZAG/COST e GDE/UnB demonstraram maior eficácia nesse aspecto, com destaque para o GDE/UnB, que se mostrou o mais completo em termos técnicos e operacionais.

A comparação entre os métodos (Tabela 26) confirma a superioridade do GDE/UnB, por sua estrutura bem definida, precisão nos resultados e viabilidade de aplicação em campo. Sua adoção representa uma oportunidade concreta de modernizar a gestão de pontes no Brasil, promovendo intervenções mais seguras, estratégicas e eficientes.

Dessa forma, esta pesquisa reforça a necessidade de substituição dos modelos defasados por metodologias mais consistentes, capazes de apoiar a tomada de decisão e garantir a segurança das infraestruturas de transporte.

6.1 Recomendações para trabalhos futuros

A seguir são listadas algumas recomendações para trabalhos futuros:

- Métodos de Priorização Mais Eficientes: Desenvolver métodos que considerem mais fatores de risco, como a importância da localização das patologias no elemento das OAE, e utilizar inteligência artificial para aprimorar a priorização das estruturas mais vulneráveis.
- Revisão do Método NBR 9452/2019: Ajustar o critério de criticidade estrutural e simplificar a classificação, tornando o método mais prático e eficiente para intervenções preventivas.

- Validação do Método GDE/UnB: Validar o método em mais casos e ajustar os parâmetros para garantir que sejam aplicáveis a diferentes tipos de OAE e condições de campo.
- Ajustes no Método ZAG/COST: Aperfeiçoar os parâmetros do método para reduzir a subjetividade e evitar a superestimação da deterioração, oferecendo diretrizes mais objetivas.
- Desenvolvimento de Material de Treinamento: Elaborar uma apostila e curso voltados para a qualificação e treinamento de inspetores, com foco na correta identificação e quantificação dos defeitos das OAE.
- Avaliação de Variabilidade entre Inspetores: Realizar a avaliação de diferentes pontes por diversos inspetores de forma independente, utilizando cada um dos métodos, para observar a variabilidade das notas e identificar possíveis inconsistências ou subjetividades nas avaliações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 9452**: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2019.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pontes e viadutos brasileiros carecem de acostamentos e defensas**. Brasília: CNT, 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/ponte-destruida-pesquisa-cnt-rodovias>
Acesso em: 18 set. 2024.

COST 345 - EUROPEAN CO-OPERATION IN THE FIELD OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL RESEARCH. **COST 345**: Procedures for Assessing Highway Structures: Final report, 2007. Disponível em: http://cost345.zag.si/Reports/COST_345_WG23.pdf. Acesso em: 06 de ago. de 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Implantação e operação em âmbito nacional do sistema de gerenciamento de pontes - 3ª fase**. Relatório final, Brasília, DF, 2004a.

_____. **NORMA DNIT 010**: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. Brasília, 2004c.

_____. **Relatórios Técnicos em Bloco - OAE com nota crítica**. Brasília, 2023.

GIOVANNETTI, A. C. V. P. **Avaliação do estado de conservação de pontes: estudo de caso**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

JUNGES, P.; LIMA, A. S.; VERLY, R. C. **Levantamento das manifestações patológicas mais recorrentes em Obras de Arte Especiais**. 64º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC 2023, Florianópolis. Anais, 2023.

KHAN, M. A. **Bridge and highway: Structure, rehabilitation and repair**, 1th ed. Oxford: McGraw-Hill Professional, 2010.

MANIFESTO PELA SEGURANÇA E MANUTENÇÃO DAS PONTES BRASILEIRAS. Associações representativas da Engenharia de Pontes do Brasil, Brasília, fevereiro de 2025.

SOUZA, Tiago G.; COELHO, Nailde A. **Estudo das Manifestações Patológicas do Prédio de Laboratórios da UNIVASF - Campus Juazeiro-BA com a Metodologia**

GDE/UnB. Trabalho acadêmico. Colegiado de Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro, BA, 2022.

TULA, L. S. Contribuição ao estudo da resistência à corrosão de armaduras de aço inoxidável. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. *Apud* BAZAN, G. C. da. G. **Análise do cobrimento e carbonatação em obras de arte especiais no estado de São Paulo.** 2014. 150 f. Dissertação (Monografia de pós-graduação) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

VERLY, R. C. Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2015.

WORLD BANK. World Development Report 2009: Reshaping Economic Geography. Washington, D.C, 2009.

APÊNDICE

Banco de dados fotográfico das OAE analisadas com as patologias mais relevantes:

OAE 1. Ponte sobre o Rio do Peixe.

Figura 21 - Foto de identificação da OAE



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 22 - Foto lateral da ponte vista inferior



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 23 - Foto de identificação superior da OAE/Ausência de sinalização vertical



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 24 - Junta de dilatação - Junta danificada, inexistente ou expelida



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 25 - Pilar com manchas de umidade



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 26 - Pilar com ferragem principal muito oxidada em pontos localizados, concreto desagregado



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 27 - Pilar com ferragem principal muito oxidada em pontos localizados, concreto desagregado



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 28 - Viga T ou I-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 29 - Viga T ou I-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 30 - Viga com concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, degradação devido à ação biológica



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 31 - Viga T ou I - Nicho de concretagem



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 32 - Nicho de concretagem/ Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 33 - Transversina com concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, ferragem principal exposta



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 34 - Laje Infiltração e mancha de umidade, Fissura profunda fina



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 35 - Laje com concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 36 - Fissura profunda fina (A favor da segurança), lixiviação e carbonatação



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 37 - Guarda corpo com deslocamento de concreto com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 38 - Guarda corpo com deslocamento de concreto com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 39 - Ala com concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, infiltração e mancha de umidade



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 40 - Ala com Infiltração e mancha de umidade, lixiviação e mancha de carbonatação



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 41 - Pavimento asfáltico - danificado



Fonte: DNIT (2023a).

Figura 42 - Pilar/Viga de contraventamento - Concreto desagregado com armadura exposta; Pilar-mancha de umidade



Fonte: DNIT (2023a).

OAE 2. Ponte sobre o Rio Capivari.

Figura 43 - Vista inferior lateral



Fonte: DNIT (2023b)

Figura 44 - Transversina, Viga T-Degradação devido ação biológica



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 45 - Pilar-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 46 - Viga T, Transversina-Armadura sem cobrimento



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 47 - Viga T, Transversina-Armadura sem cobrimento



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 48 - Viga T, Transversina-Armadura sem cobrimento/Viga T-Concreto desagregado com armadura exposta



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 49 - Transversina-Armadura sem cobrimento



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 50 - Viga T, Transversina-Armadura sem cobertura/Viga T, Laje-Mancha de umidade, Lixiviação



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 51 - Pilar-Ferragem principal muito oxidada em pontos localizados



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 52 - Pilar-Ferragem principal muito oxidada em pontos localizados



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 53 - Pilar-Ferragem principal muito oxidada em pontos localizados



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 54 - Transversina- Armadura sem cobrimento



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 55 - Guarda rodas-Deslocamento de concreto com armadura exposta



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 56 - Guarda rodas-Deslocamento de concreto com armadura exposta



Fonte: DNIT (2023b).

Figura 57 - Pavimento asfáltico-Danificado, Buraco na pista



Fonte: DNIT (2023b).

OAE 3. Ponte sobre o Rio Paramirim

Figura 58 - Foto de identificação da OAE



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 59 - Bloco de C.A-concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 60 - Bloco de C.A-Fissura profunda aberta



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 61 - Estaca de C.A-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, estaca desconfinada



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 62 - Estaca de C.A-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, estaca desconfinada



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 63 - Pilar em colunas-Infiltração e mancha de umidade



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 64 - Viga T ou I-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, fissura superficial



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 65 - Laje de C.A-Fissura Profunda Fina, lixiviação e carbonatação



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 66 - Pilar em colunas-deslocamento de concreto com armadura exposta



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 67 - Pavimento asfáltico - buraco na pista



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 68 - Laje de C.A-Fissura Profunda Fina, lixiviação e carbonatação



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 69 - Guarda-rodas - Deslocamento de concreto com armadura exposta



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 70 - Viga T ou I-Degradação devido à ação biológica, armadura sem cobrimento



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 71 - Junta de dilatação - junta de dilatação danificada, inexistente ou expelida



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 72 - Laje de C.A-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 73 - Cortina de C.A-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, lixiviação e carbonatação



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 74 - Bloco de C.A-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023c).

Figura 75 - Guarda-Corpo - Deslocamento de concreto com armadura exposta



Fonte: DNIT (2023c).

OAE 4. Ponte sobre o Rio Jequitinhonha.**Figura 76** - Viga - Deslocamento de concreto com armadura exposta / Dente gerber - infiltração no concreto

Fonte: DNIT (2023d).

Figura 77 - Viga, transversina - degradação biológica

Fonte: DNIT (2023d).

Figura 78 - Laje - concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 79 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada.



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 80 - Transversina - mancha de umidade



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 81 - Transversina - degradação biológica, concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 82 - Guarda-rodas - fissura profunda aberta



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 83 - Laje - fissura profunda fina, lixiviação e mancha de carbonatação



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 84 - Laje - concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, mancha de umidade



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 85 - Laje - fissura profunda fina, mancha de umidade, lixiviação e mancha de carbonatação



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 86 - Viga - Deslocamento de concreto com armadura exposta



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 87 - Pilar - concreto desagregado / Parede de contraventamento - armadura sem cobertura



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 88 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada / Viga – lixiviação



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 89 - Estaca - Estaca desconfinada



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 90 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada / Viga – lixiviação



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 91 - Estaca - Estaca desconfinada



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 92 - Dente gerber - mancha de umidade, infiltração no concreto / Laje - fissura profunda fina, lixiviação



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 93 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 94 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 95 - Bloco - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada / Estaca - estaca desconfiada



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 96 - Laje - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 97 - Bloco - armadura sem cobertura



Fonte: DNIT (2023d)

Figura 98 - Transversina - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, rompimento da transversina



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 99 - Transversina - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 100 - Viga, laje - fissura profunda fina, lixiviação e mancha de carbonatação



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 101 - Vista lateral da OAE



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 102 - Transversina - mancha de umidade, infiltração no concreto, concreto desagregado com armadura exposta



Fonte: DNIT (2023d).

Figura 103 - Transversina - Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, armadura rompida



Fonte: DNIT (2023d).

OAE 5. Viaduto km 217,24 sobre Ferrovia

Figura 104 - Placa de identificação



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 105 - Guarda corpo-Destruído



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 106 - Pilar- Mancha de fogo



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 107 - Ponte em laje-Mancha de fogo, Lixiviação e mancha de carbonatação



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 108 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 109 - Viga de contraventamento-Manchas de umidade, concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 110 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada; Armaduras rompidas



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 111 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, Lixiviação



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 112 - Viga de contraventamento-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 113 - Ponte em laje-Concreto desagregado, Infiltração no concreto, umidade, armaduras rompidas



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 114 - Viga de contraventamento-Concreto desagregado, umidade, lixiviação, fissura profunda aberta ($w > 0,3$ mm)



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 115 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, Lixiviação



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 116 - Viga de contraventamento-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 117 - Viga de contraventamento-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 118 - Pilar-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 119 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 120 - Viga de contraventamento-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 121 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada



Fonte: DNIT (2023e).

Figura 122 - Ponte em laje-Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, Lixiviação



Fonte: DNIT (2023e).