

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JULIANA BRIZOLA CHAVES**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO DE OBRAS DE  
ARTE ESPECIAIS: UM ESTUDO DE CASO**

**GUARAPUAVA**

**2023**

**JULIANA BRIZOLA CHAVES**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO DE OBRAS DE  
ARTE ESPECIAIS: UM ESTUDO DE CASO**

**Comparative Analysis Of Special Works Of Art Inspection Methodologies: A  
Case Study**

Trabalho de conclusão de curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Laura Silvestro  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Msc. Bianca Paola Comin

**GUARAPUAVA**

**2023**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**JULIANA BRIZOLA CHAVES**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO DE OBRAS DE  
ARTE ESPECIAIS: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 29 de junho de 2023

---

Laura Silvestro  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

---

Bianca Paola Comin  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

---

Geannina Lima Mestrado  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

---

Dyorgge Alves da Silva Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

**GUARAPUAVA**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a todos que contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Suas palavras de apoio, orientação e incentivo foram fundamentais para o sucesso desta jornada.

Em primeiro lugar, à Deus dedico minha gratidão e reconhecimento por estar ao meu lado em cada passo dessa jornada acadêmica, e por ser minha fonte de força e inspiração.

Agradeço à minha orientadora e à minha coorientadora, pela sua disposição, paciência, compreensão e conhecimento compartilhado ao longo deste projeto. Sua orientação foi essencial para me manter focada e direcionada durante as etapas do trabalho.

Quero expressar minha gratidão aos meus amigos e à Turma T9, em especial, por estarem ao meu lado ao longo de toda essa jornada. Vocês foram uma fonte constante de encorajamento, motivação e suporte emocional.

Agradeço à minha família pelo constante apoio, incentivo e compreensão ao longo dessa jornada. Vocês foram minha fonte de força e motivação, e sou imensamente grata por todo o amor e suporte incondicional.

Por fim, quero agradecer a todos os professores e profissionais da área que contribuíram indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho. Seus trabalhos acadêmicos e pesquisas serviram de base e inspiração para a elaboração desta dissertação.

## RESUMO

A inspeção de obras de arte especiais (OAEs) desempenha um papel fundamental na identificação, avaliação do grau de conservação e no planejamento de ações de manutenção. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é comparar cinco metodologias de inspeção de OAEs com base nas diretrizes fornecidas por diferentes fontes: i) DNIT (2004), ii) NBR 9452 (2019), iii) GDE/UnB (2011), iv) Manual de Inspeção dos Elementos de Ponte (MBEI) da AASHTO (2019) e v) Matriz GUT. Para realizar a comparação, foi realizada uma inspeção visual em uma ponte de concreto armado localizada no município de Guarapuava-PR. As manifestações encontradas durante a inspeção foram registradas por meio de fotografias, as quais foram utilizadas para aplicar cada uma das metodologias e obter os resultados. As metodologias aplicadas foram avaliadas com base nos seguintes critérios: tempo de aplicação da metodologia, nível de dificuldade, nível de confiabilidade, dados considerados e riqueza de detalhes. Os resultados obtidos indicaram que as abordagens do GDE/UnB e da AASHTO apresentaram um desempenho satisfatório em relação aos critérios mencionados anteriormente. A abordagem do GDE/UnB considera fatores como fator de ponderação ( $F_p$ ), fator de intensidade do dano ( $F_i$ ), grau do dano ( $D$ ), grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ), grau de deterioração da família de elementos ( $G_{df}$ ) e o fator de relevância estrutural ( $F_r$ ) para calcular o Grau de dano ( $G_d$ ) da estrutura como um todo. Por outro lado, a abordagem da AASHTO define e classifica os elementos existentes para cada tipo de material que uma OAE pode ser construída, descrevendo os defeitos que podem surgir para cada um deles por meio de imagens e tabelas, além de fornecer imagens para auxiliar na definição das quantidades de defeitos existentes. Após considerar esses aspectos, concluiu-se que as metodologias adotadas pelo DNIT e pela NBR 9452 (2019) na realização da inspeção apresentam um nível significativo de subjetividade, o que pode resultar em variações consideráveis nos resultados obtidos por diferentes inspetores.

Palavras-chave: obras de arte especiais, inspeção, metodologias, comparação, critérios

## ABSTRACT

Inspecting bridges and viaducts plays a fundamental role in identifying, assessing conservation status, and planning maintenance actions. The objective of this study is to compare five methodologies for the inspection of bridges and viaducts based on guidelines provided by different sources: i) DNIT (2004), ii) NBR 9452 (2019), iii) GDE/UnB (2011), iv) Manual for Bridge Element Inspection (MBEI) by AASHTO (2019), and v) GUT Matrix. A visual inspection was conducted on a reinforced concrete bridge located in the city of Guarapuava, PR. The findings during the inspection were documented through photographs, which were used to apply each methodology and obtain the results. The applied methods were evaluated based on the following criteria: methodology application time, difficulty level, reliability level, considered data, and level of detail. The results indicated that GDE/UnB and AASHTO approaches demonstrated satisfactory performance regarding the abovementioned criteria. The GDE/UnB approach considers factors such as weighting factor ( $F_p$ ), damage intensity factor ( $F_i$ ), damage degree ( $D$ ), element deterioration degree ( $G_{de}$ ), a family of elements deterioration degree ( $G_{df}$ ), and structural relevance factor ( $F_r$ ) to calculate the overall damage grade ( $G_d$ ) of the structure. Conversely, the AASHTO approach defines and classifies existing elements for each type of material of bridges and viaducts, describing the defects that can occur for each of them through images and tables and providing images to assist in defining the quantities of existing defects. Considering these aspects, it was concluded that the methodologies adopted by DNIT and NBR 9452 (2019) in conducting the inspection exhibit a significant level of subjectivity, which can lead to considerable variations in results obtained by different inspectors.

Keywords: special works of art, inspection, methodologies, comparison, criteria

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Elementos constituintes de uma OAE.....	14
Figura 2 - Seção transversal típica de pontes e viadutos com seus elementos constituintes .....	14
Figura 3 - Infraestrutura representada por bloco e estacas.....	15
Figura 4 - Encontros de pontes a) em alvenaria de pedras ou concreto ciclópico e b) em concreto armado .....	16
Figura 5 - Ponte com balanços nas extremidades, em substituição aos encontros ..	17
Figura 6 - Exemplo de Longarina e Transversina.....	18
Figura 7 - Incidência de manifestações patológicas em levantamento de OAEs localizadas no estado da Paraíba .....	20
Figura 8 – Avanço de carbonatação nos intervalos de tempo t1 e t2 até a despassivação e corrosão da armadura .....	22
Figura 9 – Desagregação do concreto .....	23
Figura 10 – Exemplo de eflorescência .....	24
Figura 11 – Lixiviação com presença de estalactites .....	25
Figura 12 – Exemplo de (a) fissura, (b) trinca e (c) rachadura .....	26
Figura 13 – Organograma .....	29
Figura 14 – Importância da inspeção visual mostrada em termos de informações obtidas e dos custos totais de inspeção.....	30
Figura 15 – Exemplo de nomenclatura a ser utilizada durante a inspeção .....	32
Figura 16 – Exemplo de nomenclatura a ser utilizada durante a inspeção .....	32
Figura 17 – Fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de OAEs.....	39
Figura 18 – Determinação do Fi através da comparação.....	41
Figura 19 – Estimativa de quantidade linear. A) 5 por cento, b) 10 por cento, c) 25 por cento e d) 50 por cento. ....	48
Figura 20 – Localização da OAE.....	50
Figura 21 – a), b) e c) – Ponte antes da ampliação.....	51
Figura 22 – Ponte sobre o Rio Jordão.....	52
Figura 23 – Comparação entre as metodologias.....	66

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Espessura da abertura e sua classificação .....	26
Quadro 2 – Classificação da OAE de acordo com a ABNR NBR 9542 (2019) .....	36
Quadro 3 – Nota final para cada um dos parâmetros.....	37
Quadro 4 – Modelo de ficha de inspeção para vigas .....	40
Quadro 5 – Fator de intensidade do dano, Fi.....	41
Quadro 6 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento .....	43
Quadro 7 – Fator de relevância estrutural – Fr.....	44
Quadro 8 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura – Gd.....	44
Quadro 9 – Elementos de uma ponte: Tabuleiro/Laje.....	46
Quadro 10 – Descrição de elementos de uma ponte: Tabuleiro/Laje.....	46
Quadro 11 – Defeito 1080 – Delaminação/Lascas .....	47
Quadro 12 – Matriz GUT .....	49
Quadro 13 – Ficha de inspeção rotineira – DNIT 010/2004 .....	55
Quadro 14 – Ficha de inspeção rotineira – NBR 9452 .....	57
Quadro 15 – Ficha descritiva da estrutura .....	58
Quadro 16 – Fp, Fi e D para cada um dos elementos estruturais da ponte .....	59
Quadro 17 – Gde e Gdf.....	60
Quadro 18 – Definição dos elementos da OAE.....	61
Quadro 19 - Apresentação dos resultados .....	62
Quadro 20 – Matriz GUT.....	63



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>COMPONENTES ESTRUTURAIS DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS (OAES)</b> 13	
2.2.1	Infraestrutura .....	14
2.2.2	Mesoestrutura .....	17
2.2.3	Superestrutura .....	17
<b>2.3</b>	<b>MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO</b> 18	
<b>2.3.1.</b>	<b>Corrosão das armaduras</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3.2.</b>	<b>Lixiviação e Eflorescência</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3.3.</b>	<b>Fissuração</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3.4.</b>	<b>Falhas de concretagem</b> .....	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>SELEÇÃO DAS METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO</b> .....	<b>29</b>
3.1.1	Metodologia DNIT .....	32
3.1.2	Metodologia NBR 9452 (2019) .....	34
3.1.3	Metodologia GDE/UnB – adaptado para pontes .....	37
3.1.3.1	Preenchimento da ficha descritiva .....	39
3.1.3.2	Fator de ponderação do dano ( $F_p$ ) .....	39
3.1.3.3	Fator de intensidade do dano ( $F_i$ ) .....	40
3.1.3.4	Grau do dano ( $G_d$ ) .....	42
3.1.3.5	Grau de deterioração de um elemento ( $G_{de}$ ) .....	42
3.1.3.6	Grau de deterioração da família de elementos ( $G_{df}$ ) .....	43
3.1.3.7	Grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ) .....	43
3.1.4	Manual de Inspeção dos Elementos de Ponte (MBEI) da AASHTO (Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte) ....	45
3.1.5	Metodologia da Matriz GUT .....	48
<b>3.2</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>50</b>
	Apresentação da OAE .....	50
3.2.1	50	

3.2.2	Características da OAE .....	52
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>54</b>
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO A – CRITÉRIOS PARA ATRIBUIÇÃO DE NOTAS AVALIATIVAS AOS ELEMENTOS DE UMA OAE.....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXO B – VALORES DE FP SUGERIDOS EM FUNÇÃO DA TIPOLOGIA DAS FISSURAS .....</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXO C – DEFEITOS NOS ELEMENTOS DE PONTES DE CONCRETO ARMADO.....</b>	<b>75</b>
	<b>APÊNDICE A – FOTOGRAFIAS DA INSPEÇÃO.....</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE B – APRESENTAÇÃO DOS DEFEITOS CONFORME METODOLOGIA AMBEI/AASHTO (2019). .....</b>	<b>81</b>
	<b>APÊNDICE C – CROQUIS DA OAE EM ESTUDO.....</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, por meio do Anuário do ano de 2022 da Confederação Nacional do Transporte (CNT) é possível ter acesso a informações a respeito dos modais de transporte, sendo estes: aeroviário, aquaviário, ferroviário e rodoviário. Segundo dados referentes ao ano de 2022, nota-se a predominância do modal rodoviário no país, o qual possui uma malha rodoviária com 1.720.700 quilômetros de extensão, levando em consideração as rodovias federais, estaduais e municipais, as quais podem ser classificadas em pavimentadas ou não pavimentadas.

Como a malha rodoviária no Brasil é muito extensa, quando comparado a outros países, como o Japão e a Alemanha, por exemplo, há diversas situações em que se faz necessário ultrapassar obstáculos naturais (relativos ao relevo) ou artificiais (relativos às próprias estruturas de transporte), como ferrovias, rodovias, cursos d'água, lagos e regiões sobre o mar. Dessa forma, qualquer que seja o modal utilizado para o transporte (térreo), a presença de viadutos e pontes é de suma importância para garantir o fluxo e o bom funcionamento do sistema (DNIT, 2017). Em função das especificidades estruturais, construtivas e funcionais desse tipo de estrutura, além das singularidades que estas apresentam para seu projeto e execução, podem elas ser reconhecidas como Obras de Arte Especiais – OAEs.

Segundo Timerman (2015), no Brasil, há cerca de 137.000 OAEs; dessas, 6.612 estão sob a responsabilidade do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e ao menos 3.351 estão classificadas em situações que vão desde "condições precárias" até "mau estado de conservação". Diante desse cenário, o Sistema de Gerenciamento Informatizado de Obras de Arte Especiais (SGO) do DNIT foi criado em 1994 com o intuito de fazer a gestão das OAEs existentes no Brasil. Por meio de inspeções periódicas, esse sistema visa monitorar e fornecer um panorama da situação das OAEs com o auxílio de especialistas da área, indicando a necessidade de ações de manutenção, reparo, reabilitação e substituição. De acordo com Ferreira (2018), essa é uma das melhores abordagens para se obter bons resultados no que tange à manutenção destas estruturas, pois a vida útil de uma OAE depende diretamente das suas condições de uso e de preservação.

Este trabalho justifica-se em virtude da profusão da existência de OAEs no Brasil e à necessidade de monitoramento de estruturas desse porte, especialmente

devido à extensa malha rodoviária do país. Num segundo momento, o estudo comparativo de metodologias de inspeção rotineira de OAEs permite uma análise dos procedimentos utilizados em cada uma delas, objetivando sugerir seu uso pelo SGO. Num terceiro momento, ressalta-se a importância das atividades rotineiras de inspeção de estruturas para embasar a correção de patologias que, quando identificadas em seu estágio inicial, permitem correções menos onerosas. Além disso, é evidente a necessidade desse tipo de atividade de inspeção a fim de garantir os requisitos de segurança das OAEs.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral comparar cinco metodologias de inspeção de OAEs a partir das diretrizes fornecidas i) pelo DNIT (2004), ii) pela NBR 9452 (2019), iii) pelo GDE/UnB- adaptado para pontes (2011), iv) pelo Manual de Inspeção dos Elementos de Ponte (MBEI) da AASHTO (2019) e v) pela Matriz GUT, através das manifestações patológicas apresentadas por uma ponte de concreto armado localizada na cidade de Guarapuava-PR. Vale lembrar que, das metodologias aqui estudadas, apenas i) é empregada pelo SGO. Intenta-se, assim, analisar diferentes maneiras de identificar manifestações patológicas em estágios iniciais em OAEs, utilizadas para evitar que esse tipo de estrutura entre em colapso.

Assim, os objetivos específicos deste trabalho compreendem:

- I. Identificar e cadastrar as características estruturais e elementos da OAE em estudo;
- II. Identificar minimamente as manifestações patológicas existentes na OAE escolhida para análise *in loco*, de acordo com as metodologias selecionadas;
- III. Avaliar as metodologias de inspeção das OAEs e os procedimentos de inspeção rotineira;
- IV. Realizar um estudo comparativo a fim de analisar o grau de detalhamento e os prós e contras entre as metodologias apresentadas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o intuito de facilitar o entendimento, alguns conceitos serão abordados neste capítulo para guiar o estudo que aqui será apresentado. O termo mais abrangente trata-se das Obras de Arte Especiais (OAEs), as quais são pertencentes ao grupo de infraestrutura ferroviária e rodoviária, definidas basicamente como pontes, viadutos e túneis, as quais possuem como objetivo principal a transposição de obstáculos, seja este: uma via, um rio, um vale profundo, entre outros. Ou seja, a classificação da OAE depende do obstáculo a ser transpassado, como exemplo:

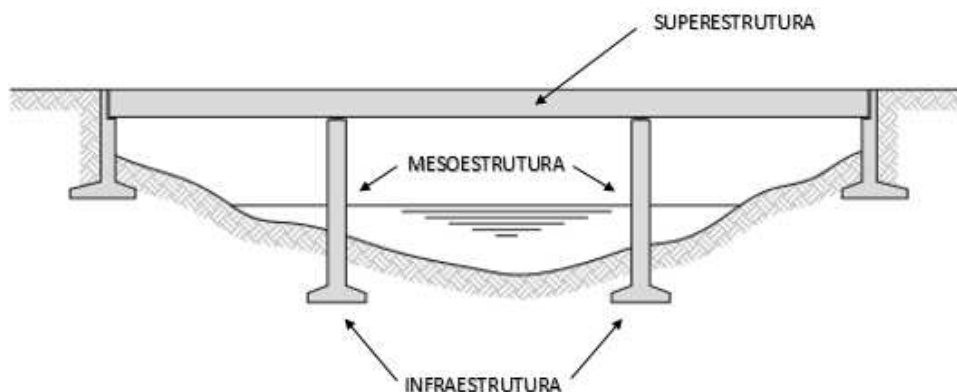
- Pontes: são destinadas à transposição de um curso d'água ou qualquer outra superfície líquida;
- Viadutos: obras destinadas à transposição de um obstáculo artificial, como uma ferrovia, rodovia, avenida, ou seja, sem a presença de uma lâmina d'água;
- Túneis: construções subterrâneas com o intuito de transpassar montanhas; e
- Passarelas: destinadas à travessia de pedestres, geralmente com uma largura inferior à de pontes e viadutos.

### 2.2 COMPONENTES ESTRUTURAIS DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS (OAES)

Para a classificação dos elementos estruturais que compõem as OAEs é importante considerar que estes podem ser classificados em dois ou três grandes grupos, variando de autor para autor. Leonhardt (1979), por exemplo, classifica as estruturas em superestrutura e infraestrutura. Enquanto Liebenberg (1992) diferencia entre superestrutura, subestrutura e fundações.

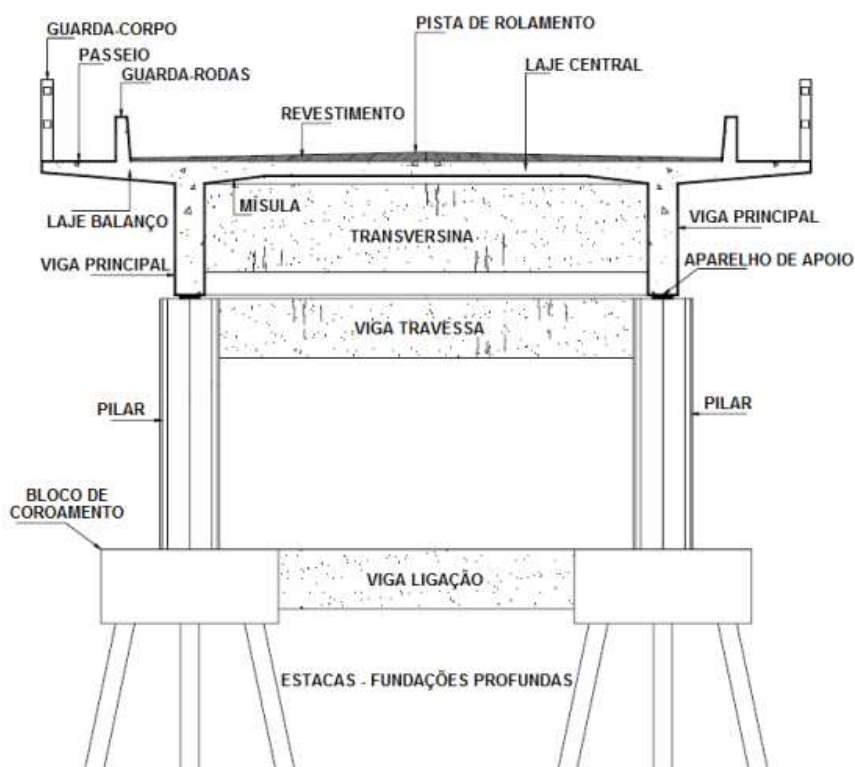
No presente trabalho, seguir-se-á a subdivisão encontrada em Mason (1977) e Pfeil (1983). Os autores subdividem os componentes em três grandes grupos: superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. A Figura 1 ilustra, de maneira global, essa subdivisão de modo a facilitar a visualização, distinguindo a infra, meso e superestrutura. Já a Figura 2 apresenta o detalhamento maior de cada elemento.

**Figura 1 - Elementos constituintes de uma OAE**



Fonte: Adaptado de El Debs e Takeya (2007)

**Figura 2 - Seção transversal típica de pontes e viadutos com seus elementos constituintes**



Fonte: Mol (2018)

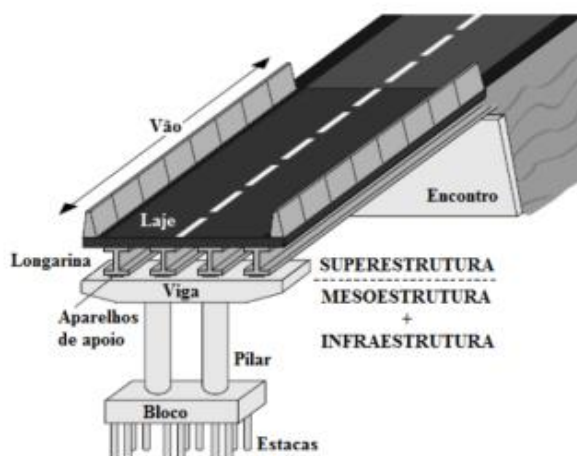
Nos subitens abaixo serão abordadas as definições de cada um dos elementos estruturais que compõem uma OAE, segundo Pfeil (1985).

### 2.2.1 Infraestrutura

Trata-se da parcela da estrutura na qual são transmitidos os esforços provenientes da mesoestrutura e, estes como efeito, são transmitidos ao terreno onde a construção será implantada, seja rocha ou solo. Os elementos constituintes da

infraestrutura (ou fundação) são: os blocos, as sapatas, as estacas, os tubulões, entre outros, bem como os objetos de ligação entre a infraestrutura e a mesoestrutura e, de seus próprios elementos entre si. Sua função principal é receber o empuxo dos aterros de acesso, além de evitar sua transmissão aos demais elementos da estrutura, como por exemplo, os blocos de cabeça de estacas e as vigas de enrijecimento desses blocos. Na Figura 3 é possível observar um exemplo de infraestrutura em uma OAE.

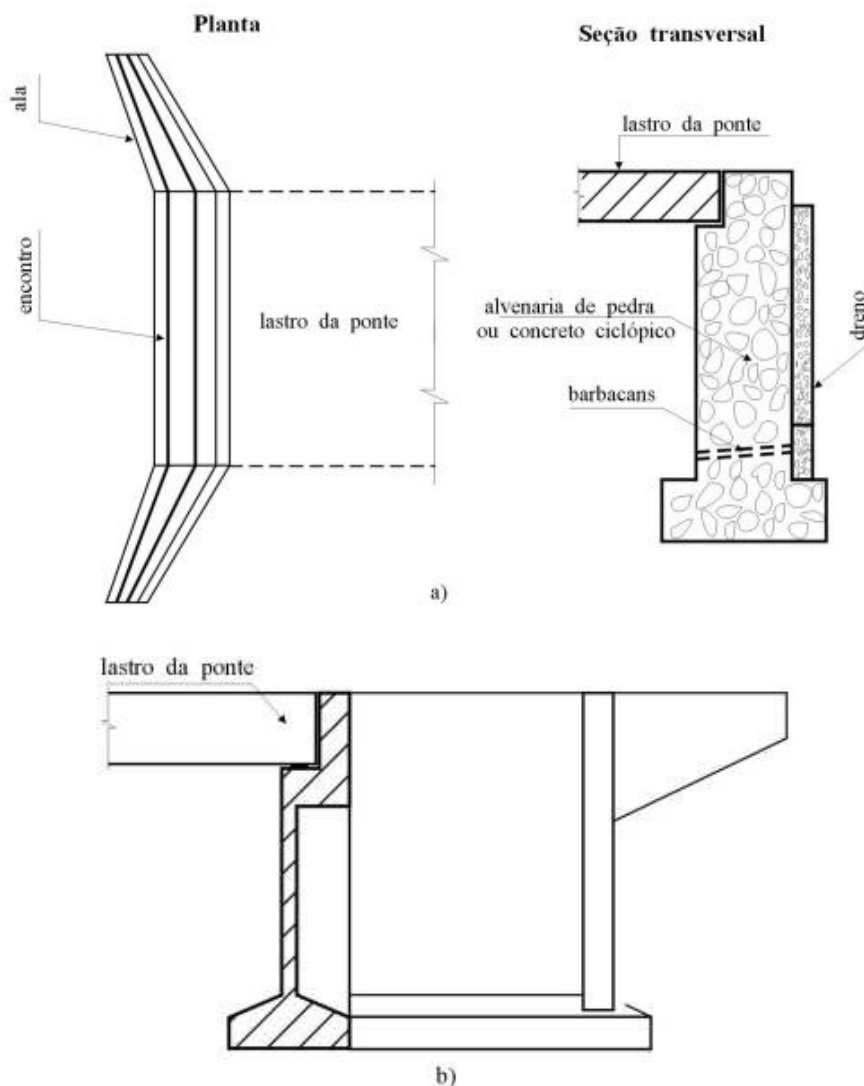
**Figura 3 - Infraestrutura representada por bloco e estacas**



Fonte: DER/PARANÁ (2021)

Os encontros, presentes também na infraestrutura, são elementos localizados nas extremidades de alguns tipos de pontes e funcionam como ligação entre a estrutura e o terrapleno. São geralmente dimensionados para absorver os esforços da superestrutura e os empuxos dos aterros das cabeceiras. Nas obras antigas ou até nas obras atuais, dependendo das condições de cada local, em especial dos parâmetros geotécnicos e topográficos - os encontros são constituídos de alvenaria de pedra, concreto ciclópico ou concreto armado (VITÓRIO, 2002). A Figura 4 apresenta o detalhamento em planta e seção transversal de encontros de pontes para alvenaria de pedras e concreto armado.

Figura 4 - Encontros de pontes a) em alvenaria de pedras ou concreto ciclópico e b) em concreto armado

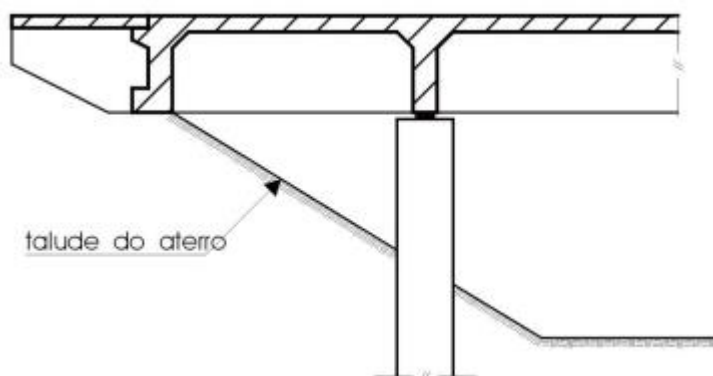


Fonte: VITÓRIO (2002)

Em alguns casos, em especial nas pontes rodoviárias de pequeno e médio porte, é usual a eliminação dos encontros, que são substituídos por balanços nas extremidades da superestrutura (Figura 5). É previsto, nesses casos, taludes com inclinação e proteção adequadas para os aterros de acesso. (VITÓRIO, 2002)



**Figura 5 - Ponte com balanços nas extremidades, em substituição aos encontros**



Fonte: VITÓRIO (2002)

### **2.2.2 Mesoestrutura**

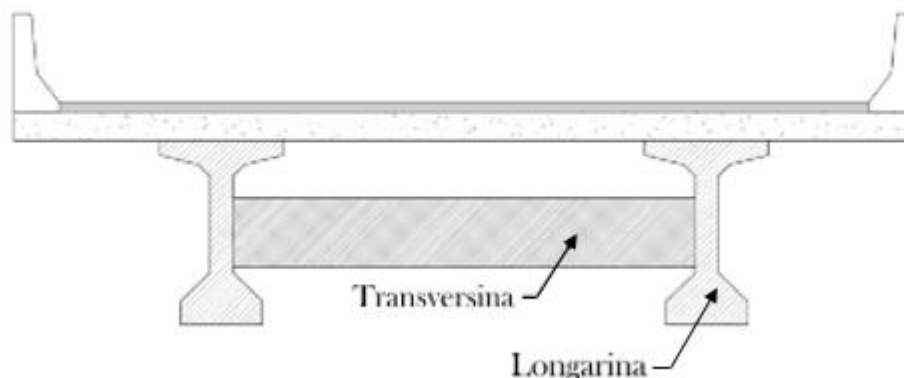
Quanto à mesoestrutura, é constituída basicamente por pilares e aparelhos de apoio e por este motivo, é o elemento que recebe os esforços provenientes da superestrutura e os distribui à infraestrutura. Pode, também, receber esforços relacionados a outras forças solicitantes da ponte, como as pressões do vento e da água em movimento, por exemplo.

### **2.2.3 Superestrutura**

Segundo Pfeil (1985), a superestrutura é composta geralmente por lajes e vigas, sejam elas principais (longarinas) ou transversais (transversinas), como ilustrado na Figura 6. Além disso, constitui a parte útil da obra, sob a ótica de sua finalidade, por se tratar do elemento responsável pelo suporte imediato do estrado, ou seja, pista de rolamento submetida diretamente à ação do tráfego.

Além disso, é na superestrutura que se encontram sistemas de segurança como as juntas de dilatação, as quais permitem a movimentação da estrutura como forma de absorver os efeitos térmicos que atuam sobre a mesma.

**Figura 6 - Exemplo de Longarina e Transversina**



Fonte: Adaptado de Cavalcante (2019)

### 2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Segundo Fu et al (2013), as origens de falhas em pontes podem ser apontadas como principais e específicas, onde a primeira pode ser subdividida entre causas internas e externas, ou fatores naturais e humanos. As causas internas estão atreladas a erros de projeto, de execução, falta de manutenção ou defeito do material constituinte da ponte. Já as causas externas, estão mais relacionadas a desastres naturais, como terremotos, enchentes, incêndios, vendavais, ou ainda, sobrecargas e colisões.

Dentre as falhas humanas durante a construção pode-se elencar a deficiência de concretagem, com relação ao transporte, ao lançamento, às juntas de concretagem e ao adensamento; a inadequação de escoramentos e formas; a deficiência nas armaduras com relação à insuficiência de armaduras, ao mau posicionamento destas, ao cobrimento insuficiente do concreto, à deficiência nas ancoragens e nas emendas, à má utilização de anticorrosivos, entre outros; a utilização incorreta dos materiais de construção a respeito da utilização do aço diferente do especificado, resistência à compressão característica inferior ao especificado, de agregados reativos, de solo com características diferentes; e a inexistência de controle de qualidade.

Quanto às causas intrínsecas naturais, pode-se dividir em:

- Causas biológicas: segundo Souza e Ripper (1998), as mais presentes em pontes, são aquelas originadas pelo crescimento de vegetação nas estruturas, cujas raízes penetram principalmente através de pequenas falhas de concretagem, ou pelas

fissuras e juntas de dilatação, e o desenvolvimento de organismos (como conchas) e micro-organismos em certas partes da estrutura;

- Causas físicas: variação da temperatura, vento, água, insolação;
- Causas químicas: reações internas ao concreto, expansibilidade de certos constituintes do cimento, presença de cloretos, de ácidos e sais e de água; e
- Causas próprias à estrutura porosa do concreto.

Já as causas extrínsecas, as quais se manifestam na etapa de concepção ou ao longo da vida útil das estruturas, podem ser relacionadas aos fatores que a atacam de fora para dentro, ou seja, extrinsecamente. Estas causas podem estar atreladas:

- Às falhas humanas durante o projeto como: a modelização inadequada da estrutura, a desconformidade quanto ao ambiente, a falta de detalhamento ou detalhamento errôneo, falha na consideração de juntas de dilatação e na interação solo-estrutura, e a avaliação malfeita das cargas;

- Às falhas humanas durante a utilização: alteração estrutural e das condições de terreno de fundação, sobrecargas excessivas;

- Ações biológicas: presença de vegetação;

- Ações químicas: reações com sulfatos, com ácidos e sais, águas agressivas e puras;

- Ações físicas: variação da temperatura, presença de água, incidência direta do sol; e

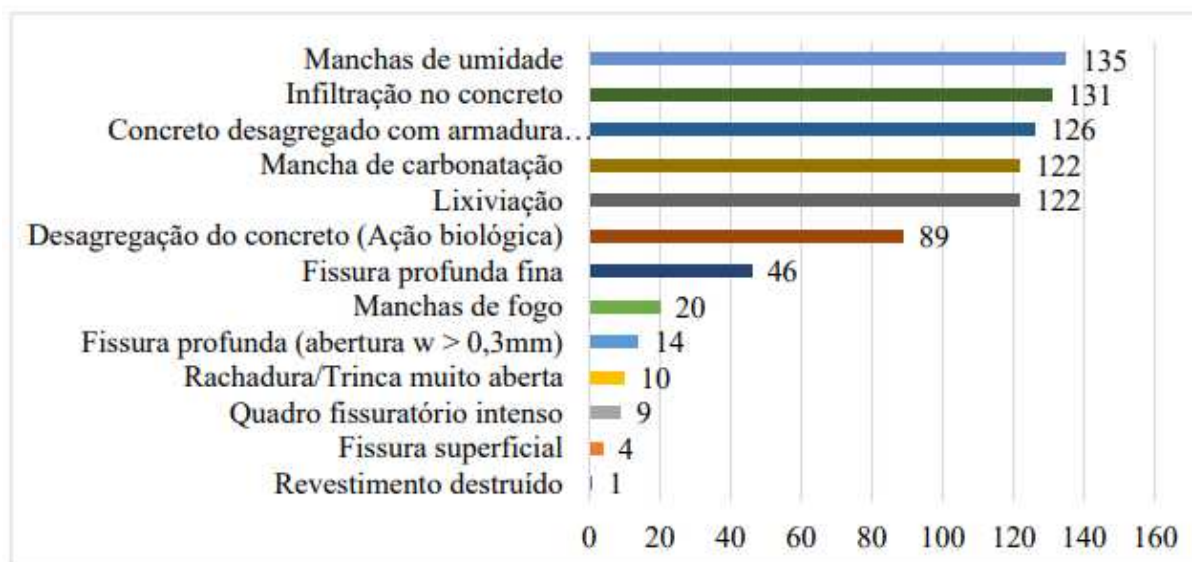
- Ações mecânicas: acidentes (sismos, inundações, incêndios, choque de veículos), recalque de fundações.

Em um estudo realizado por Silva e Melo (2021) foram inspecionadas 188 pontes no estado da Paraíba, as quais estão sob jurisdição do DNIT e cadastradas no SGO. Diante deste estudo foi possível realizar um levantamento dos aspectos mais importantes destas, como o sistema construtivo, o ano de construção e o tipo de carregamento da estrutura, por exemplo. Dentre as pontes analisadas, foi possível verificar que o sistema construtivo mais predominante foi “Viga de concreto armado, moldado no local”, com 79,8% e em seguida “Laje de concreto armado moldado no local”, ou seja, porcentagem bem significativa da utilização do concreto armado moldado *in loco*.

Além disso, as 188 pontes foram analisadas quanto ao seu estado de condição e, a respeito das OAEs em situação de “obra potencialmente problemática” à “obra

crítica”, as quais representam 76,6% das pontes analisadas, as principais manifestações patológicas encontram-se apresentadas na Figura 7.

**Figura 7 - Incidência de manifestações patológicas em levantamento de OAEs localizadas no estado da Paraíba**



Fonte: Silva e Melo (2021)

Através deste estudo, realizado por Silva e Melo (2021), é possível identificar que as manifestações mais recorrentes são: manchas de umidade, infiltração no concreto, concreto desagregado com armadura exposta e oxidada, mancha de carbonatação e lixiviação. Estas manifestações serão descritas nos subitens a seguir.

Sendo assim, para realizar uma avaliação de uma OAE, faz-se necessário a descrição de cada uma das manifestações patológicas e a caracterização de seu surgimento, devido à elevada relevância destas ações para o processo global de avaliação das estruturas. Além disso, para que a análise dos efeitos patológicos seja válida, é essencial buscar a origem do problema para poder realizar os reparos, a fim de que não comprometam a integridade e a funcionalidade desta. Laner (2001) aponta ainda que por OAE serem construções de alto custo, tanto para sua construção quanto para sua recuperação, a intervenção deve ser bem planejada, visto que para isso ocasiona impasses econômicos e sociais. Dessa maneira, são necessárias ações preventivas a fim de evitar possíveis complicações ou até mesmo o colapso da estrutura.

Entende-se por manifestações patológicas as degradações identificadas em uma OAE, as quais podem ter sua origem nas diversas etapas de sua concepção, ou

seja, nas etapas de projeto, execução e utilização, podendo assim comprometer uma peça ou toda a estrutura.

Sendo assim, para o presente trabalho, na sequência será abordado a respeito das manifestações patológicas mais recorrentes em estruturas de concreto armado.

### **2.3.1. Corrosão das armaduras**

A corrosão é definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada, ou não, a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso (GENTIL, 2007). A corrosão por ação puramente química, é chamada de oxidação e, a corrosão eletroquímica, segundo Cascudo (1997), é causada principalmente pela carbonatação e ataque de cloretos, o tipo de deterioração que pode ser vista em estruturas de concreto armado.

Esse fenômeno, de natureza expansiva, de acordo com Mehta e Monteiro (2014), pode levar ao surgimento de elevadas tensões de tração no concreto, ocasionando a fissuração e o lascamento do revestimento deste material. Tais fatores podem ocasionar a perda de aderência entre a armadura e o concreto, e a perda da seção transversal do aço, o que pode resultar no colapso da estrutura.

No caso de armaduras em concreto, os efeitos degenerativos manifestam-se na forma de manchas superficiais causadas pelos produtos de corrosão, seguidas por fissuras, destacamento do concreto de revestimento, redução da seção resistente das armaduras com frequente seccionamento de estribos, redução e eventual perda de aderência das armaduras principais, ou seja, deteriorações que levam a um comprometimento estético e da segurança estrutural ao longo do tempo (RIBEIRO, 2018).

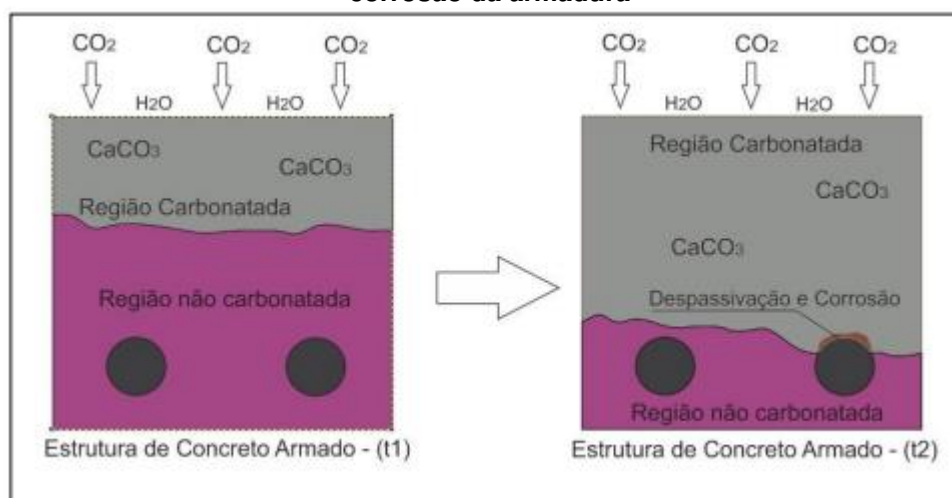
Segundo Ribeiro (2018), a princípio, devido ao revestimento nominal, as armaduras das estruturas de concreto armado estão protegidas e passivadas contra a corrosão, que é, basicamente, a sua deterioração por ação química ou eletroquímica. Esta proteção é provocada por uma barreira física impedindo que agentes externos ingressem no concreto, além da proteção química, proporcionada pela alta alcalinidade da solução aquosa presente nos poros do concreto. Quando há a perda ou a ruptura desta proteção, pode-se desencadear um processo de

deterioração, o qual é ocasionado principalmente através dos fenômenos de carbonatação e de contaminação por cloretos no concreto.

A reação de carbonatação é basicamente uma reação de neutralização do caráter original do concreto, que é fortemente alcalino. Essa redução de alcalinidade é devida, preponderantemente, à reação do gás carbônico do ar com hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento Portland, precipitando carbonato de cálcio, em presença de umidade (HELENE, 1992).

Diante disso, Cascudo (1997) menciona sobre o avanço da frente de carbonatação, o qual deve ser estimado acerca da espessura do concreto de cobrimento da armadura, a fim de evitar alterações da estabilidade química da película passivadora do aço pela ação da carbonatação pois, após a despassivação da armadura, o processo de corrosão pode ser desencadeado. A Figura 8 ilustra o avanço da frente de carbonatação até que a armadura é atingida, despassivando-a e, assim, dando início ao processo de corrosão.

**Figura 8 – Avanço de carbonatação nos intervalos de tempo t1 e t2 até a despassivação e corrosão da armadura**



Fonte: Tasca (2012)

Segundo Guzzo (2018), a contaminação por cloretos no concreto de cobrimento da armadura pode estar atrelada tanto às características inerentes ao concreto quanto às condições ambientais e de exposição. Os fatores inerentes ao concreto podem estar relacionados ao tipo de cimento, à relação água/cimento, à presença de adições, à resistência à compressão axial e à compactação. Já os fatores ambientais são referentes à temperatura, à umidade relativa, à concentração

superficial, à condição de exposição e ao tipo de ambiente (ambiente marinho há maior quantidade de íons cloreto, por exemplo).

De acordo com Monteiro (2002), o mecanismo de transporte dos íons cloreto presentes no concreto, são normalmente: a absorção capilar e a difusão iônica. Por absorção capilar, a água penetra através dos poros do concreto devido à tensão superficial, principalmente em ciclos de molhagem e secagem, carreando os íons cloreto (SILVA, 2006). A difusão é um processo espontâneo de transporte de massa num sistema físico-químico, por efeito de gradientes de concentração entre os diferentes meios em contato. No caso do concreto esse contato se dá entre a solução presente nos poros e o meio ambiente (MONTEIRO, 2002). Cabe ressaltar que o fenômeno da corrosão de armaduras é mais frequente que qualquer outro fenômeno de degradação das estruturas de concreto armado, comprometendo-as tanto do ponto de vista estético, quanto do ponto de vista de segurança e sendo sempre dispendioso o seu reparo ou recuperação (SALIBA JUNIOR, 2008).

Uma das consequências desse processo de corrosão é a desagregação do concreto que, segundo Vitório (2002), ocorre geralmente por meio da separação de partes do concreto, devido, geralmente, à expansão ocasionada através da oxidação ou dilatação das armaduras, além da expansão devido ao aumento de volume do concreto quando ocorre absorção de água e aos choques e movimentações estruturais. Como consequência, tem-se que um elemento estrutural com seções de concreto desagregado (Figura 9) perderá, localizada ou globalmente, a capacidade de resistir aos esforços que a solicitam (SOUZA; RIPPER, 1998)

**Figura 9 – Desagregação do concreto**



Fonte: Silva (2018)

### 2.3.2. Lixiviação e Eflorescência

O fenômeno da lixiviação do concreto, segundo Helene (2003), é ocasionado através dos compostos hidratados da pasta de cimento, os quais podem ser dissolvidos e carreados pela ação de águas puras, de águas carbônicas agressivas ou de águas ácidas. Nesse sentido, o impacto que este fenômeno gera no concreto é a redução do seu pH, que normalmente está compreendido entre 12 e 13 e, como resultado, origina a despassivação da armadura, além do risco de desenvolvimento de fungos e bactérias.

Quando estas águas entram em contato com a pasta de cimento Portland, elas tendem a hidrolisar ou dissolver os produtos contendo cálcio. O hidróxido de cálcio é o constituinte que, devido à sua solubilidade alta em água pura, é mais sensível à eletrólise, ocorrendo a lixiviação. Além da perda de resistência, a lixiviação do hidróxido de cálcio pode ser indesejável por razões estéticas. Frequentemente, o produto da lixiviação interage com o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), presente no ar, e resulta na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície (Figura 10), fenômeno conhecido como eflorescência (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Além disso, de acordo com Gentil (2007), o depósito pode aparecer em forma de estalactites, como exemplificado na Figura 11 (OLIVEIRA et al., 2022).

**Figura 10 – Exemplo de eflorescência**



Fonte: Vasconcelos (2018)



**Figura 11 – Lixiviação com presença de estalactites**



Fonte: Macedo et al. (2017)

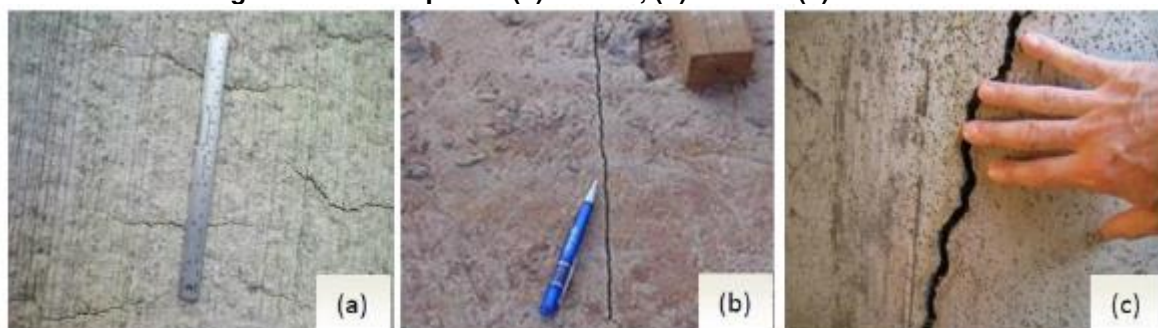
### **2.3.3. Fissuração**

As mudanças higroscópicas provocam variações dimensionais nos materiais porosos que integram os elementos e componentes da construção; o aumento do teor de umidade produz uma expansão do material, enquanto a diminuição desse teor provoca uma contração. No caso da existência de vínculos que impeçam ou restrinjam essas movimentações, poderão ocorrer fissuras nos elementos e componentes do sistema construtivo. (THOMAZ, 2020)

A fissura é originada por conta da atuação de tensões nos materiais. Quando a solicitação é maior do que a capacidade de resistência do material, a fissura tende a aliviar suas tensões. Quanto maior for a restrição imposta ao movimento dos materiais, e quanto mais frágil ele for, maiores serão a magnitude e a intensidade da fissuração. (CORSINI, 2010)

O processo de fissuração, segundo Helene (2003), na realidade, pode ser entendido como um sintoma e não como manifestação patológica. Nenhuma obra, por mais que tenha sido extremamente bem executada, está isenta de apresentar fissuras ao longo de sua vida útil. Este fenômeno, em grande parte, é como uma consequência de problemas estruturais e, devido a este fato, antes de ser reparado deve ser investigada sua causa raiz. Oliveira (2012) afirma que as aberturas são classificadas em: fissura, trinca, rachadura, fenda ou brecha, de acordo com sua espessura (Figura 12). O Quadro 1 contém a classificação das aberturas de acordo com o que foi descrito anteriormente.

**Figura 12 – Exemplo de (a) fissura, (b) trinca e (c) rachadura**



Fonte: Fioriti (2016)

**Quadro 1 – Espessura da abertura e sua classificação**

Anomalias	Aberturas (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10,0

Fonte: Oliveira (2012)

As fissuras podem ser classificadas como ativas (variação da abertura em função de movimentações hidrotérmicas ou outras) ou passivas (abertura constante). Nesse contexto, para a especificação de um correto tratamento, é de vital importância que se verifique se a fissura analisada é ativa (viva ou instável) ou inativa (morta ou estável). São chamadas de ativas, as fissuras que apresentam variação de abertura, e de inativas aquelas em que tal variação não ocorre. Tal verificação é feita, geralmente, através da utilização de “selos” rígidos, que são gesso ou plaquetas de vidro coladas, que se rompem caso a fissura apresente variação de abertura, ou

através da medição direta (fissurômetro) dessa variação (PIANCASTELLI, 1997). Thomaz (2020) afirma que as fissuras podem ter suas causas atreladas às movimentações provocadas por variações térmicas e higroscópicas, à atuação de sobrecargas ou concentração de tensões, aos esforços excessivos nas estruturas, aos recalques diferenciais das fundações, à retração de produtos à base de ligantes hidráulicos e às alterações químicas de materiais de construção.

Com relação às OAEs, segundo Lourenço et al. (2009), é muito comum que este tipo de estrutura apresente muitas fissuras. Sua origem está relacionada a uma distribuição irregular de tensões no interior da estrutura, ainda que possa também ser originada a partir da decomposição ou desagregação do concreto. Vítório (2002) ainda afirma que os efeitos da fissuração nas OAEs, em grande parte, apresentam consequências muito danosas devido à própria natureza das obras, comumente sujeitas às intempéries e submetidas a carregamentos variáveis (até excessivos) e, normalmente, desprovidas de algum tipo de manutenção.

#### **2.3.4. Falhas de concretagem**

O concreto é um produto composto por agregados graúdo e miúdo, cimento e água, que quando preparado e lançado corretamente, transforma-se em uma mistura homogênea, onde os agregados graúdos estão completamente envolvidos pela argamassa (areia, cimento e água). Se ocorrer um erro de lançamento ou de adensamento, os agregados graúdos podem se segregar da argamassa, formando um concreto cheio de vazios, permeável, que permite a passagem de água com facilidade (ARIVABENE, 2015).

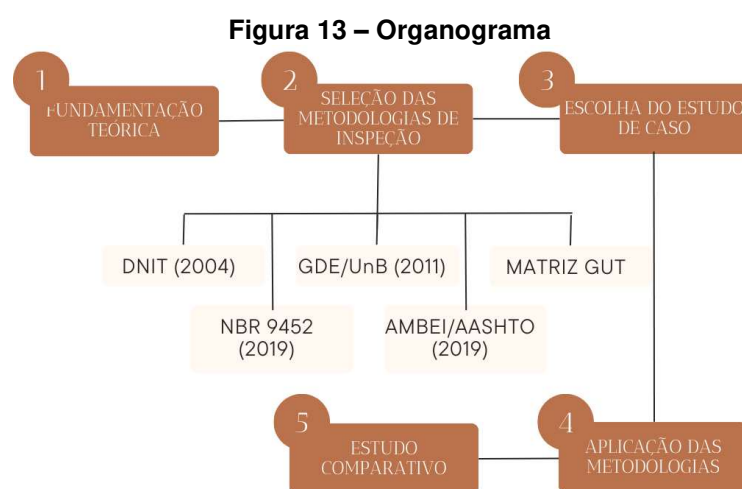
O processo de segregação, segundo Piancastelli (1997), pode ser ocasionado devido ao lançamento livre do concreto de grande altura; alta concentração de armadura impedindo a passagem do agregado graúdo; vazamento da pasta através dos vãos da forma; dosagem incorreta do concreto; uso inadequado de vibradores.

Nesse âmbito, a deficiência na concretagem da peça, com a ocorrência de vazios e exposição de agregados, pode ser ocasionada por um ou mais dos fatores descritos a seguir: dosagem inadequada do concreto, diâmetro máximo do agregado graúdo não condizente com as dimensões da peça, lançamento e/ou adensamento inadequados, taxas excessivas e espaçamento inadequado de armaduras e perda de nata de cimento por aberturas nas formas. Pode haver situações em que não somente

os agregados ficam expostos, mas haja exposição de barras das armaduras dos elementos estruturais, ocasionando o início de processo corrosivo (VERLY, 2015).

### 3 METODOLOGIA

A fim de realizar uma análise comparativa entre as diferentes metodologias de inspeção de OAEs e aplicá-las a um estudo de caso na cidade de Guarapuava – PR, este trabalho organiza-se segundo as etapas apresentadas pelo organograma ilustrado na Figura 13. O conteúdo referente à etapa 1 está presente no capítulo 2 (REVISÃO BIBLIOGRÁFICA) deste trabalho; já as etapas 2 e 3 estão contidas nesta seção, enquanto que as etapas 4 e 5 estão apresentadas nos capítulos de de Resultados e Discussões e Considerações Finais, respectivamente.

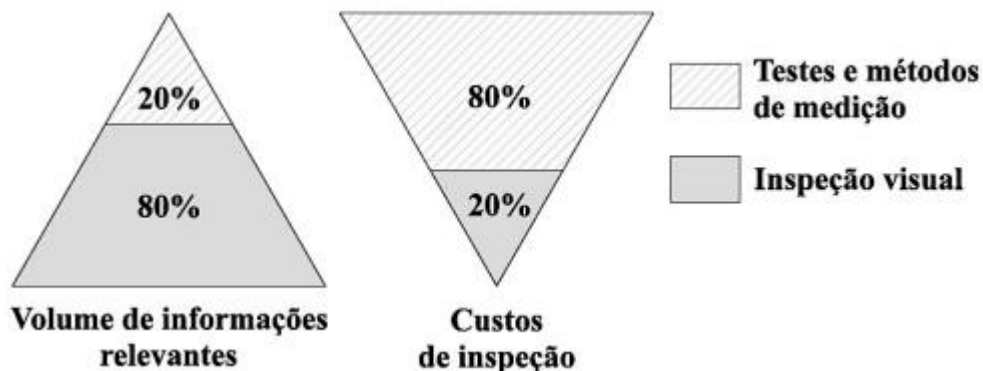


Fonte: Autoria própria (2023)

#### 3.1 SELEÇÃO DAS METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO

A inspeção visual é o método de melhor relação custo/informação quando se trata da análise e monitoramento de patologias em OAEs. Quando realizada por pessoal qualificado, se mostra um meio econômico e confiável, fornecendo em um curto prazo uma visão geral da condição da estrutura. A Figura 14 apresenta a relação entre os custos e os resultados obtidos: 80% das informações relevantes são obtidas com apenas 20% dos custos de inspeção (CEB-FIB, 2002). Além de informações acerca de novos danos, a inspeção visual é uma ferramenta eficiente na verificação da evolução dos danos detectados em inspeções anteriores (FONTES et al., 2014).

**Figura 14 – Importância da inspeção visual mostrada em termos de informações obtidas e dos custos totais de inspeção**



Fonte: Adaptado de CEB-FIB (2002)

A escolha do tipo de inspeção (seja ela visual ou não) a ser adotada numa análise preventiva, pode ser influenciada por aspectos como o tipo de inspeção, a metodologia utilizada para a classificação e o inspetor. Segundo Almeida (2013), o nível de acessibilidade, as características dos materiais e da estrutura e o meio em que a OAE está inserida, interferem na seleção do tipo de inspeção. Ademais, as condições em que ela é realizada podem afetar os resultados, como exemplo, pode-se citar a influência da meteorologia, do estado de limpeza da estrutura e também das condições de tráfego. A metodologia utilizada para a avaliação influencia nos resultados na medida em que a escala de avaliação é definida com base em uma classificação qualitativa de diferentes níveis de danos apresentados pela estrutura em análise. Dessa forma, diferentes inspetores nem sempre interpretarão essa classificação da mesma maneira.

O último fator de influência no resultado de uma inspeção, talvez o mais importante, é o próprio inspetor. Questões como a experiência, a formação específica na área de OAEs, personalidade, otimismo ou pessimismo ao atribuir as notas e conforto ao trabalhar em locais altos e em meio ao tráfego, podem sugerir demasiadamente a avaliação da estrutura (VERLY, 2015)

Para realizar a inspeção de uma Obra de Arte Especial e avaliar o seu estado de conservação, foram selecionadas cinco metodologias distintas, com o objetivo de comparar os resultados obtidos. A escolha dessas metodologias baseou-se na busca pela abrangência mais ampla possível. Portanto, foram selecionadas as metodologias do DNIT 010 (2004) e da NBR 9452 (2019), por serem normatizadas e reconhecidas como referências nacionais, a metodologia do GDE/UnB, por seu amplo

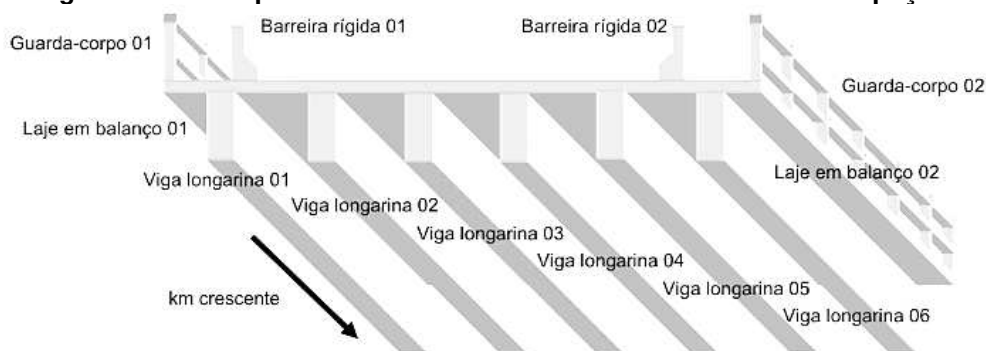
desenvolvimento e reconhecimento na área de patologia, a metodologia da AASHTO (American Association for State Highway and Transport Officials), frequentemente utilizada nos EUA, foi selecionada com o intuito de compará-la com as metodologias nacionais, e, por fim, a metodologia da Matriz GUT, que é teoricamente mais simples do que as demais.

Foram considerados diversos parâmetros para análise, tais como o tempo de aplicação da metodologia, o nível de dificuldade, a confiabilidade dos dados considerados e a riqueza de detalhes obtida. Com base nesses critérios, como citado brevemente de antemão, as seguintes metodologias foram utilizadas:

- 5) DNIT 010 – PRO (2004) – Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido;
- ii) NBR 9452 (2019) – Inspeção de pontes, viadutos, passarelas de concreto – Procedimento;
- iii) GDE/UnB;
- iv) Matriz GUT (Gravidade x Urgência x Tendência); e
- v) Manual de Inspeção dos Elementos de Ponte (MBEI) da AASHTO.

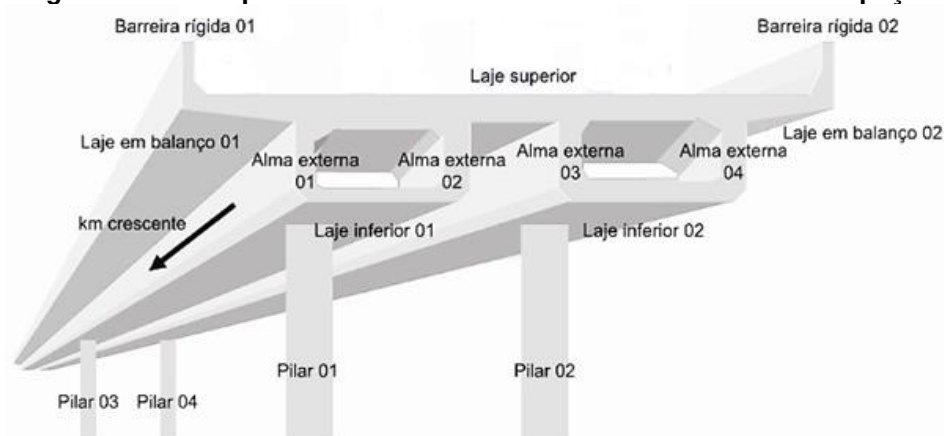
No presente trabalho, a fim de padronizar as nomenclaturas dos elementos estruturais utilizadas durante a inspeção, utilizou-se como base o Anexo G da ABNT NBR 9452 (2019), o qual aborda a padronização das nomenclaturas a serem utilizadas durante a execução de uma inspeção. O item utilizado como base é o G.2.1 – Obras de arte no eixo da rodovia (passagens inferiores e pontes) – e neste é possível verificar qual critério deve ser seguido para a numeração dos elementos estruturais a serem analisados. Em um primeiro momento a referida norma cita que o inspetor deve se posicionar de costas para a menor quilometragem e, na direção longitudinal à pista, a numeração deve ser adotada da menor para a maior quilometragem. Já na direção transversal, deve-se iniciar a numeração sempre da esquerda para a direita. Nas Figura 15 e Figura 16 é possível ver um exemplo que ilustra o uso dessa nomenclatura.

**Figura 15 – Exemplo de nomenclatura a ser utilizada durante a inspeção**



Fonte: ABNT NBR 9452 (2019)

**Figura 16 – Exemplo de nomenclatura a ser utilizada durante a inspeção**



Fonte: ABNT NBR 9452 (2019)

Com o intuito de compreender melhor as metodologias de inspeção de OAEs selecionadas para uso neste trabalho, as próximas subseções têm o objetivo de detalhar cada uma delas.

### 3.1.1 Metodologia DNIT

A norma DNIT 010 – PRO (2004) discorre a respeito do planejamento e do procedimento utilizado para a realização das inspeções em OAEs, apresentando os tipos de inspeção existentes e sua respectiva frequência de execução (a cada dois anos, habitualmente), semelhante ao descrito pela NBR 9452 (2019). Foi criada para ser utilizada como documento base na realização de inspeções em OAEs e bueiros utilizados em estradas de rodagem. Preparada pela Diretoria de Planejamento e Pesquisa, essa norma está baseada na norma DNIT 001/2002 – PRO e cancela e substitui a norma DNER – PRO 123/94.



Segundo a norma DNIT 010/2004, há exigências mínimas que devem ser levadas em consideração para realizar, com segurança, uma inspeção confiável e completa, sendo estas: o planejamento e a programação adequada. Aspectos como o motivo e o tipo da inspeção, o dimensionamento da equipe, os equipamentos e as ferramentas, a existência de projetos e de relatórios de inspeções anteriores e, o período do ano mais favorável à inspeção, deverão ser abordados por meio dessas duas atividades (planejamento e programação).

Para a realização da inspeção de uma OAE é necessário que seja mantido o mínimo de organização para que, desta maneira, haja a garantia de que todo elemento estrutural seja inspecionado. É muito importante, também, que haja registros fotográficos de todas as vistas da OAE (superior, inferior e laterais), além dos detalhes de apoios, articulações, juntas, entre outros elementos que se julgar necessário no momento da inspeção. Os defeitos encontrados também devem ser analisados com cuidado e atenção e, para isso, quando possível, orienta-se limpar a superfície da OAE para facilitar a visualização de eventuais trincas, corrosões ou qualquer outro defeito encoberto. Para verificar a existência de vibrações ou de deformações excessivas, a OAE deve ser observada durante a passagem de cargas pesadas, se possível.

Ademais, a inspeção deve contar, também, com a avaliação dos elementos elencados abaixo, com relação às suas características e aos problemas que estes possam apresentar:

- a) Geometria e condições viárias;
- b) Acessos;
- c) Cursos d'água;
- d) Encontros e fundações;
- e) Apoios intermediários;
- f) Aparelhos de apoio;
- g) Superestrutura: em caixão, em vigas e em lajes maciças;
- h) Pista de rolamento;
- i) Juntas de dilatação;
- j) Barreiras e Guarda-corpos;
- k) Sinalização;
- l) Instalações de utilidade pública.

No presente estudo, será conduzida uma inspeção do tipo rotineira, uma vez que o objetivo principal consiste na comparação das metodologias mencionadas anteriormente e, a abordagem se mostra adequada e suficiente para o propósito em questão.

Ela é considerada uma inspeção periódica, geralmente realizada a cada dois anos, a fim de verificar visualmente a evolução das manifestações patológicas encontradas, bem como registrar novos defeitos e ocorrências encontrados e, assim, tomar as medidas necessárias, tais como reparos, reforços, recuperações, entre outros.

Os resultados da inspeção rotineira serão registrados em fichas específicas, padronizadas; as quais constam no Anexo A da referida norma e na apresentação dos resultados do presente trabalho. Se na inspeção rotineira forem observados defeitos que possam afetar o desempenho da obra, defeitos críticos ou graves, deverá ser solicitada uma inspeção especial (DNIT, 2004). Ademais, no Anexo A, estão apresentados os critérios para atribuição de notas avaliativas aos elementos de uma OAE onde se atribui nota de 1 a 5 para cada elemento componente desta, refletindo assim a gravidade dos problemas detectados no elemento. A nota final da OAE corresponde à menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural.

### **3.1.2 Metodologia NBR 9452 (2019)**

A NBR 9452 (2019), assim como a norma do DNIT previamente apresentada, também explicita diferentes tipos de inspeção: cadastral, rotineira, especial e extraordinária. A inspeção cadastral é a primeira, ou seja, deve ser realizada logo após a conclusão da obra, à instalação da estrutura ou assim que esta for integrada a um sistema de monitoramento. Além disso, também é necessária esta inspeção quando houver alguma alteração na configuração inicial da obra. Para esta metodologia, neste estudo também será aplicada a inspeção rotineira, em razão dos motivos já apresentados.

Como o próprio nome sugere, trata-se da inspeção realizada de maneira frequente, com um intervalo pré-estabelecido, não superior a um ano, entre uma inspeção e outra. A inspeção pode ser realizada de maneira visual, com a utilização de equipamentos de medição, ou ainda, com a utilização de recursos especiais para análise. Entre uma inspeção e outra, deve ser analisada a evolução das falhas já

observadas na inspeção anterior, bem como o surgimento de novos episódios. Os requisitos mínimos, segundo a NBR 9452 (2019), que a inspeção deve conter, incluem:

- a) introdução
- b) a classificação da OAE;
- c) observações referentes a eventuais alterações do estado geral da OAE, identificadas ao comparar com a inspeção anterior;
- d) preenchimento da ficha para inspeção rotineira conforme roteiro básico presente no anexo B, na referida norma;
- e) registro fotográfico, de acordo com o que já foi citado anteriormente;
- f) demais informações consideradas relevantes no momento da inspeção.

Para realizar a inspeção, são utilizados critérios de classificação da OAE, onde os parâmetros de avaliação são os seguintes:

- Parâmetros estruturais: relacionados à segurança da OAE, utilizando-se dos critérios presentes na ABNT NBR 6118 (2014), são os critérios mais relevantes sob a ótica de prioridade de ações de recuperação;

- Parâmetros funcionais: diz respeito à funcionalidade da OAE, ou seja, se esta exerce ou não a sua função integralmente, sem defeitos, garantindo a segurança e o conforto dos usuários;

- Parâmetros de durabilidade: relacionados diretamente à vida útil da OAE.

Além disso, há também os critérios de definição da nota de classificação, onde o estado em que a OAE se encontra pode ser classificado como: excelente, bom, regular, ruim ou crítico, associando notas aos parâmetros de avaliação, citados anteriormente. Esta nota varia entre 1 e 5 e, para defini-la, deve-se seguir o estabelecido no Quadro 2 (NBR 9452, 2019).

Quadro 2 – Classificação da OAE de acordo com a ABNR NBR 9542 (2019)

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

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 9452 (2019)

Para encontrar a nota final deve ser considerada a menor dentre as notas atribuídas ao parâmetro analisado. Para isso, deve-se avaliar o modelo apresentado na norma, onde a nota é atribuída por elemento estrutural e para cada um dos parâmetros: estrutural, funcional e de durabilidade, como apresentado no Quadro 3.

**Quadro 3 – Nota final para cada um dos parâmetros**

Parâmetro	Elemento						
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	Nota final
				Estrutura	Encontro		
<b>Estrutural</b>							
<b>Funcional</b>		NA	NA				
<b>Durabilidade</b>							

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 9452 (2019)

### 3.1.3 Metodologia GDE/UnB – adaptado para pontes

A Metodologia GDE/UnB avalia, quantitativamente, o grau de deterioração de estruturas de concreto armado para edificações usuais em concreto armado. Esta avaliação se dá de maneira visual, principalmente, quando se compara o que foi visto na edificação analisada com os exemplos de danos disponibilizados pelos autores deste método.

Cada um dos elementos estruturais (vigas, pilares, lajes) de uma ponte deve ser avaliado e, para isso, faz-se um registro fotográfico dos danos encontrados a fim de, posteriormente, realizar um diagnóstico e um laudo técnico a respeito do que foi visto em campo. Esta metodologia pode ser utilizada para determinar os elementos que necessitam de manutenção corretiva, indicando as falhas e a urgência que cada um exige para a tomada de decisões e de intervenções.

É através do Caderno de Inspeção (CASTRO, 1994) que as vistorias são orientadas, pois é neste que as informações necessárias para a inspeção estão descritas. Os danos apontados neste caderno são, por exemplo, as manchas de corrosão, as manchas encontradas na superfície do concreto e a segregação deste; a eflorescência; a desagregação; a esfoliação, a carbonatação; a fissuração acima do limite de tolerância prescrito em norma; as flechas excessivas; a deficiência de cobrimento; as; a presença de cloretos e a infiltração. A Figura 17 apresenta um fluxograma com o procedimento necessário para a plena aplicação da metodologia.

A Metodologia GDE/UnB ou PECC/UnB, desenvolvida por Castro (1994), teve como base a metodologia proposta por Klein et al. (1991) e possui, como objetivo

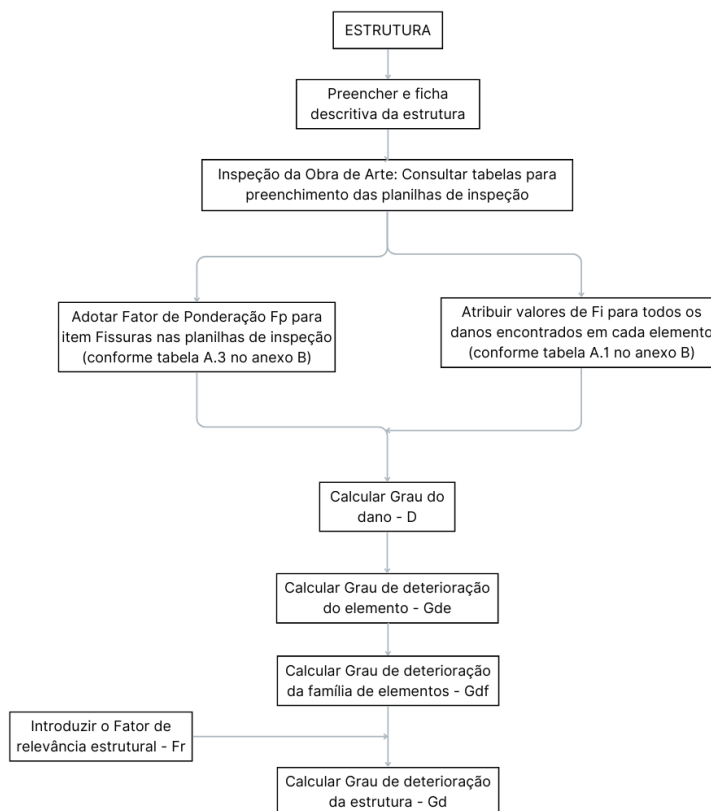
principal, avaliar estruturas convencionais em concreto armado. Esta já foi aplicada em diversos estudos, em diversas estruturas, e já passou por modificações feitas por Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007).

A concepção proposta por Fonseca (2007) se trata da última modificação realizada para a aplicação em estruturas convencionais em concreto armado, até chegar, por fim, na adaptação da metodologia proposta por Euqueres (2011), especificamente para as OAEs, sendo esta o objetivo do presente trabalho. Além disso, Verly (2015) propôs uma alteração na formulação do  $G_d$ , a qual foi utilizada durante a aplicação da metodologia.

Além de levar em consideração a conservação das estruturas, por se tratar de obras públicas, Euqueres (2011) promoveu adequações ao modelo de inspeção original para que a inspeção fosse apenas visual a fim de propiciar a aplicação da metodologia de forma prática. Os elementos inspecionados nas OAEs são, por exemplo, pilares, transversinas e longarinas (vigas), laje, barreiras de defesa (ou guarda-corpos), cortinas, blocos de fundação (quando possível a inspeção), pista de rolagem e juntas de dilatação.

Ao seguir o procedimento ilustrado na Figura 17, as etapas incluem a divisão da estrutura em famílias de elementos típicos, a verificação do fator de ponderação de um dano, atribuição do fator de intensidade do dano, cálculo do grau do dano ( $D$ ), do grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ), do grau de deterioração da família de elementos ( $G_{df}$ ), introdução do fator de relevância estrutural ( $F_r$ ) e, por fim, o cálculo do grau do dano global da estrutura. Nos subitens abaixo serão abordadas cada uma dessas etapas do processo de aplicação da metodologia para edificações convencionais em estruturas em estruturas de concreto armado.

**Figura 17 – Fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de OAEs**



Fonte: Adaptado de Euqeres (2011)

### 3.1.3.1 Preenchimento da ficha descritiva

O primeiro passo é preencher a ficha descritiva, a qual solicita informações a respeito das características da OAE como a sua extensão, o número de vãos existentes, o sistema construtivo, como também informações a respeito da inspeção e do responsável pela execução desta.

### 3.1.3.2 Fator de ponderação do dano ( $F_p$ )

De acordo com Fonseca (2007), é um fator que busca quantificar, diante de uma escala de 1 a 5, as manifestações patológicas existentes em uma determinada família de elementos, a fim de avaliar a importância relativa de um determinado dano com relação à segurança, à estética e à funcionalidade, permitindo assim, que a mesma manifestação patológica tenha valores de  $F_p$  distintos em famílias diferentes. Para a determinação deste fator, a metodologia traz valores sugeridos para cada um

dos danos, levando em consideração a relevância do dano para o bom funcionamento do elemento estrutural analisado. E, para isso, há formulários, como o modelo do Quadro 4 adaptado de Euqeres (2011), os quais devem ser preenchidos durante a inspeção.

**Quadro 4 – Modelo de ficha de inspeção para vigas**

Planilhas para Inspeção VIGAS				
Nome do elemento				
Local				
Danos	Fp	Fi	D	Croquis/observações
Carbonatação	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de Armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	2			
Fissuras	2 a 5*			
Flechas	5			
Manchas	3			
Sinais de esmagamento	4			
Umidade na base	3			

Fonte: Adaptado de Euqeres (2011)

Já para as fissuras, considerou-se a metodologia utilizada por Fonseca (2007), o qual atribui a responsabilidade de adoção do fator de ponderação ao próprio inspetor, podendo este variar entre 2 e 5, onde os valores sugeridos são baseados na Tabela A.3 do Anexo B, do “Roteiro de inspeção (modificado) para estruturas de concreto”, de Fonseca (2007). Neste trabalho a tabela encontra-se no Anexo B.

### 3.1.3.3 Fator de intensidade do dano ( $F_i$ )

O fator de intensidade do dano ( $F_i$ ) utiliza de uma escala que varia de 0 a 4 e tem como objetivo principal classificar a gravidade e a evolução do dano, determinado pelo avaliador, não levando em consideração o elemento estrutural no qual este se encontra, diferentemente do fator de ponderação ( $F_p$ ). Para atribuir o valor de  $F_i$  para cada elemento utiliza-se a classificação apresentada por Fonseca (2007), como pode



ser observado no Quadro 5. Além disso, a Figura 18 representa uma parte das fotos de danos em estruturas de concreto e fatores de intensidade sugeridos, presentes no ANEXO B – Roteiro de inspeção para pontes de concreto armado, apresentado por Euqueres (2011).

**Quadro 5 – Fator de intensidade do dano, Fi**

<b>Tipos de danos</b>	<b>Fator de intensidade do dano – Tipos de manifestação</b>
<b>Carbonatação</b>	1 – localizada, com algumas regiões com $\text{pH} < 9$ , sem atingir a armadura 2 – localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco; 3 – localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido 4 – generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido
<b>Cobrimento deficiente</b>	1 – menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura 2 – menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões; 3 – deficiente, com armaduras expostas em extensões significativas

Fonte: Adaptado de Fonseca (2007)

**Figura 18 – Determinação do Fi através da comparação**



Fig. 12 - Desagregação do concreto na viga ( $F_i=4$ ) e Falha de concretagem no pilar ( $F_i=1$ )



Fig. 15 - Desagregação do concreto ( $F_i=3$ )

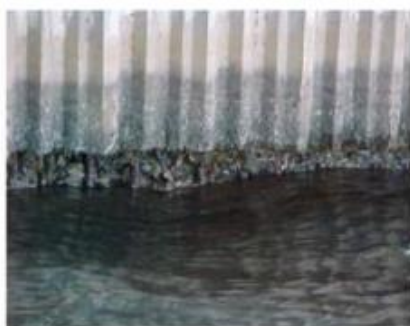


Fig. 13 - Desagregação do concreto ( $F_i=4$ )



Fig. 16 - Eflorescência ( $F_i=1$ )

Fonte: Euqueres (2011)

### 3.1.3.4 Grau do dano ( $G_d$ )

O grau de um dano é obtido a partir de uma equação que leva em consideração o fator de ponderação do dano ( $F_p$ ) e o respectivo fator de intensidade do dano ( $F_i$ ) e, assim, resulta em um valor que será utilizado nas formulações posteriores, a fim de encontrar o grau de deterioração da estrutura global. A formulação utilizada pode ser observada nas Equações 1 e 2.

$$D = 0,8.F_i.F_p \text{ para } F_i \leq 2,0 \quad \text{Equação 1}$$

$$D = (12.F_i - 28).F_p \text{ para } F_i > 2,0 \quad \text{Equação 2}$$

### 3.1.3.5 Grau de deterioração de um elemento ( $G_{de}$ )

Para determinar o grau de deterioração de um elemento, deve-se levar em consideração todos os valores de  $G_d$  (grau do dano) obtidos, dentre as várias manifestações patológicas existentes, para aquele determinado elemento, ou seja, utilizando-se a Equação 3 e 4:

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

Onde,

$m$  – número de danos do elemento;

$D_i$  - Grau do dano de índice “i”; e

$D_{m\acute{a}x}$  – maior dano detectado no elemento.

O resultado obtido para o grau de deterioração de um elemento ( $G_{de}$ ) é utilizado para definir o nível de deterioração de cada um destes e, para isso, utiliza-se o Quadro 6 para classificação entre nível: baixo, médio, alto e crítico, apontando ainda, medidas a serem tomadas referente a cada um dos elementos da estrutura.

**Quadro 6 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento**

Nível de deterioração	G <sub>de</sub>	Medidas a serem adotadas
Baixo	≤ 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	16 a 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	51 a 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 18 meses).
Sofrível	81 a 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 ano).
Crítico	≥ 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: Adaptado de Euqueres (2011)

### 3.1.3.6 Grau de deterioração da família de elementos (G<sub>df</sub>)

Cada elemento possui o seu grau de dano (G<sub>de</sub>) e, considerando que para cada família existe mais de um elemento, a partir destes valores, faz-se uma média aritmética a fim de obter o grau de deterioração de cada família de elementos. No entanto, é apenas levado em consideração os elementos desta família que resultem em um grau de deterioração (G<sub>de</sub>) maior que 15, pois abaixo deste valor, o estado do elemento é considerado aceitável. Para isso, tem-se a Equação 4.

$$G_{df} = G_{de,máx} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^n G_{de(i)}) - G_{de,máx}}{\sum_{i=1}^n G_{de(i)}}}$$
Equação 4

Onde,

n – número de elementos com G<sub>de</sub> ≥ 15

### 3.1.3.7 Grau de deterioração da estrutura (G<sub>d</sub>)

E, por fim, o grau de deterioração da estrutura, representa o nível de deterioração desta como um todo, e pode ser determinado a partir da equação proposta por Verly (2015), representada neste trabalho através da Equação 5. O fator de relevância estrutural (Fr) pode ser definido através do Quadro 7.

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

Onde,

k – número de famílias da estrutura;

K – produto do  $G_{df,i}$  pelo respectivo  $F_r$ ; e

$K_{m\acute{a}x}$  – Maior valor do produto do  $G_{df,i}$  pelo respectivo  $F_r$ .

**Quadro 7 – Fator de relevância estrutural –  $F_r$**

Família de elementos	$F_r$
Barreiras de defesa e/ou guarda-rodas	1,0
Pista de rolagem	2,0
Cortinas, Juntas de dilatação	3,0
Lajes, Fundações, Aparelho de apoio, Vigas secundárias	4,0
Vigas principais e Pilares	5,0

Fonte: Adaptado de Euqeres (2011)

Sabe-se que os elementos de fundação possuem grande relevância para as condições de usabilidade e segurança de uma estrutura, no entanto, segundo Euqeres (2011), como se trata da avaliação apenas visual, esse item ficou classificado como de segunda ordem devido à impossibilidade da verificação dos elementos de fundação em sua integralidade. Sendo assim, adotou-se um  $F_r$  igual a 4,0 a fim de que este não influencie significativamente nos resultados.

Seguindo o mesmo princípio do  $G_{de}$ , ao calcular o grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ), é possível classifica-la quanto ao nível de deterioração e, assim, definir qual a melhor medida a ser adotada referente à estrutura global, seguindo o Quadro 8.

**Quadro 8 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura –  $G_d$**

Nível de deterioração	$G_d$	Medidas a serem adotadas
Baixo	$\leq 15$	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	16 a 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	51 a 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 18 meses).

Sofrível	81 a 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 ano).
Crítico	≥ 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: Adaptado de Euqeres (2011)

Há casos em que a estrutura como um todo resulta em um nível de deterioração abaixo do nível de deterioração de um elemento isolado, sendo assim, deve-se levar em consideração o estado mais crítico, e assim, adotar a medida de correção necessária conforme foi apontado anteriormente no Quadro 8.

### **3.1.4 Manual de Inspeção dos Elementos de Ponte (MBEI) da AASHTO (Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte)**

A AASHTO é a associação rodoviária dos Estados Unidos da América (EUA), a qual publica especificações e diretrizes que auxiliam tanto no projeto quanto na execução das rodovias norte-americanas. Em 2013 a AASHTO lançou a primeira edição de um manual para inspeção de pontes e, em 2019 lançou uma edição atualizada do mesmo, a qual é utilizada atualmente.

Este manual tem como objetivo inspecionar os elementos de uma ponte e classifica-los quanto ao estado de condição em que estes se encontram e, para isso, a OAE em estudo é dividida entre os dois tipos de elementos abordados no manual: os Elementos Nacionais de Pontes (NBEs) e os Elementos de Gerenciamento de Pontes (BMEs).

Os NBEs representam os principais componentes estruturais de uma ponte, os quais são essenciais para garantir a segurança e a condição geral dos principais membros de suporte de carga. Já os BMEs incluem elementos secundários, como as juntas, superfícies de desgaste, sistema de revestimentos protetor e sistemas de proteção de lajes, por exemplo.

Todos os elementos, sejam estes NBEs ou BMEs, possuem as mesmas características para classificação do estado em que se encontram. Como exemplo, a unidade de medida utilizada para os elementos da ponte deve ser considerada em metros, para o comprimento e em metros quadrados para a área, ou seja, para todos os elementos deve ser calculada sua quantidade existente na ponte.

Dentro deste manual, na seção 2, há exemplos de quais elementos podem ser encontrados durante a inspeção de uma ponte, separados entre NBEs e BMEs, e por material. Como exemplo, o subitem 2.1 é referente aos Elementos Nacionais de Pontes (NBEs) e o primeiro elemento a ser abordado são os tabuleiros e as lajes. O Quadro 9 mostra como o manual traz estes guias, para cada um dos elementos.

**Quadro 9 – Elementos de uma ponte: Tabuleiro/Laje.**

Elemento	Unidades	Tabuleiro	Laje	Outro
Tabuleiro/Laje de Concreto Armado	área, m <sup>2</sup>			
Tabuleiro de Concreto Protendido	área, m <sup>2</sup>			
Flange superior de Concreto Protendido	área, m <sup>2</sup>			
Flange superior de Concreto Armado	área, m <sup>2</sup>			
Tabuleiro de Aço – Grade aberta	área, m <sup>2</sup>			
Tabuleiro de Aço – Grande preenchida com concreto	área, m <sup>2</sup>			
Tabuleiro de Aço – Corrugado/ortotrópico/etc...	área, m <sup>2</sup>			
Tabuleiro/Laje de Madeira	área, m <sup>2</sup>			
Tabuleiro/Laje de outro material	área, m <sup>2</sup>			

Fonte: Adaptado de AASHTO (2019)

Na seção 3 há uma lista que contém uma descrição dos elementos de uma ponte, separados por material, onde cada um está organizado por nome, número, classificação (NBE ou BME) e unidades de medida, a fim de facilitar a inspeção. No Quadro 10 há um exemplo de como foi elaborada esta lista, para tabuleiros e lajes em concreto armado.

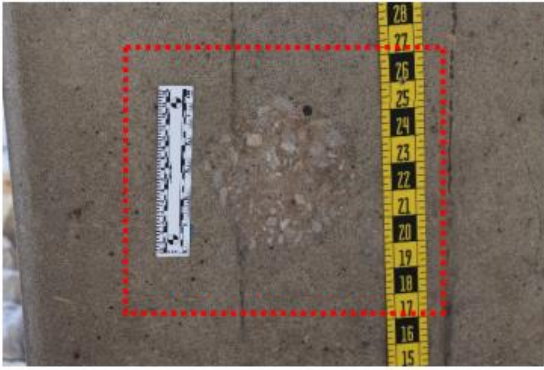


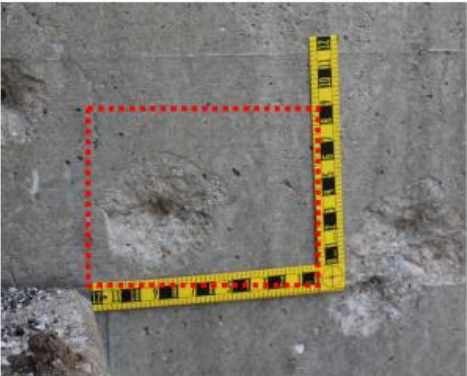
**Quadro 10 – Descrição de elementos de uma ponte: Tabuleiro/Laje**

Tabuleiros e Lajes					
12	Tabuleiro de Concreto Armado	Classificação	NBE	Unidade de Medida	m <sup>2</sup>
	<b>Descrição:</b>	Todos os tabuleiros de pontes em concreto armado, independentemente da superfície de desgaste ou dos sistemas de proteção utilizados.			
	<b>Cálculo da quantidade:</b>	Área do tabuleiro de ponta a ponta, incluindo quaisquer áreas medianas e contabilizando quaisquer sinalizadores ou rampas presentes.			
38	Laje de Concreto Armado	Classificação	NBE	Unidade de Medida	m <sup>2</sup>
	<b>Descrição:</b>	Todas as lajes de pontes em concreto armado, independentemente da superfície de desgaste ou dos sistemas de proteção utilizados.			
	<b>Cálculo da quantidade:</b>	Área da laje de ponta a ponta, incluindo quaisquer áreas medianas e contabilizando quaisquer sinalizadores ou rampas presentes.			

Fonte. Adaptado de AASHTO (2019)

Já no item 3.3 são apresentados dois modelos de quadros distintos onde, no primeiro (Anexo C), são descritos alguns dos defeitos que podem ser identificados em cada um dos materiais (concreto armado, concreto protendido, aço, madeira) com uma descrição para cada um dos estados de condição (CS): (i) CS 1 – bom; (ii) CS 2 – regular; (iii) CS 3 – ruim; e (iv) CS 4 – severo. E, no segundo modelo, há um quadro para cada um dos defeitos listados anteriormente onde há fotos, como exemplos, para os estados de condição, entre 1 e 3, conforme exemplificado no Quadro 11.

**Quadro 11 – Defeito 1080 – Delaminação/Lascas**

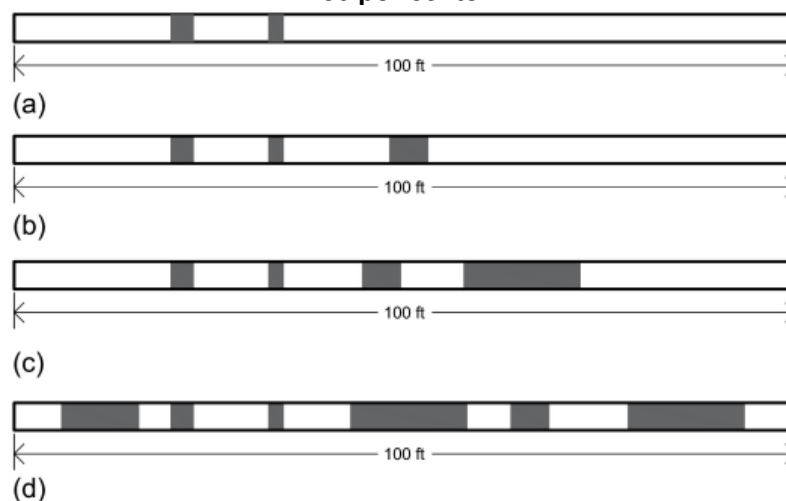
BOM	REGULAR	RUIM
Nenhum	Delaminado. Lasca de 2,54 cm (1 pol). Ou menos de profundidade ou 15,24 cm (6 pol). Ou menos de diâmetro	Lasca maior que 2,54 cm (1 pol). De profundidade ou maior que 15,24 cm (6 pol). De diâmetro. Não se faz necessária a revisão estrutural
		
	<b>Imagem de Contorno CS 1-2</b>	<b>Imagem de Contorno CS 2-3</b>
		

Fonte: Adaptado AASHTO (2019)

O manual ainda traz diagramas que podem ser utilizados como base para estimar a quantidade de dano em um determinado estado de condição, onde estas são apresentadas em porcentagem com relação à área total do diagrama ou então

avaliado de forma linear. Na Figura 19 é apresentado um exemplo do dano de maneira linear, o qual possui uma sequência referente à 5, 10, 25 e 50%.

**Figura 19 – Estimativa de quantidade linear. A) 5 por cento, b) 10 por cento, c) 25 por cento e d) 50 por cento.**



Fonte: AASHTO (2019)

### 3.1.5 Metodologia da Matriz GUT

A Matriz GUT (Gravidade x Urgência x Tendência), conhecida também como Matriz de Prioridades, é uma metodologia proposta por Kepner e Tregoe (1981) e trata de uma das ferramentas de mais simples aplicação, pois consiste em separar e priorizar os problemas para fins de análise e posterior solução onde:

G: Gravidade – consiste em avaliar as consequências negativas que o problema pode trazer aos usuários;

U: Urgência – consiste em avaliar o tempo necessário ou disponível para corrigir o problema;

T: Tendência – avalia o comportamento evolutivo da situação atual.

Essa matriz, tem como objetivo principal priorizar intervenções e diagnósticos baseando-se nos parâmetros citados. Para a inspeção de uma OAE não é muito diferente, pois com base nessa matriz é possível identificar, de maneira quantitativa, os elementos da estrutura em que se faz mais necessária uma intervenção, com ações preventivas ou corretivas.

A Matriz GUT foi elaborada com o intuito de facilitar o entendimento e a análise dos dados durante a inspeção e, no Quadro 12 é possível verificar que a pontuação



(score) varia entre 1 e 5 para cada problema, sendo 1 o de menor e 5 o de maior criticidade, para cada um dos aspectos: Gravidade, Urgência e Tendência. O resultado, para cada um dos problemas detectados, é obtido através do produto entre os valores determinados para a Gravidade, a Urgência e a Tendência, ou seja,  $G \times U \times T$ .

**Quadro 12 – Matriz GUT**

<b>GRAVIDADE</b>		
<b>Relacionado a possíveis riscos ou prejuízos aos usuários, ao patrimônio ou meio.</b>		
Extremamente grave	Risco de morte, risco de desabamento/colapso pontual ou generalizado, impacto irreversível com perda excessiva do desempenho e funcionalidade, comprometimento irreversível da vida útil do sistema causando danos graves à saúde dos usuários ou ao meio ambiente. Prejuízo financeiro muito alto.	5
Muito grave	Risco de ferimento aos usuários, danos reversíveis ao meio ambiente ou à ponte. Impacto recuperável com o comprometimento parcial do desempenho e funcionalidade (vida útil) do sistema que afeta parcialmente a saúde dos usuários ou ao meio ambiente. Prejuízo financeiro alto.	4
Grave	Risco à saúde dos usuários, desconfortos na utilização dos sistemas, deterioração passível de restauração/reparo, podendo provocar perda de funcionalidade. Prejuízo financeiro médio.	3
Pouco grave	Sem risco à integridade física dos usuários, sem risco ao meio ambiente, pequenos incômodos estéticos ou de utilização, pequenas substituições de componentes ou sistemas, reparos de manutenção planejada para recuperação ou prolongamento de vida útil. Prejuízo financeiro pequeno.	2
Sem gravidade	Nenhum risco à saúde, à integridade física dos usuários, ao meio ambiente ou à ponte. Mínima depreciação do patrimônio.	1
<b>URGÊNCIA</b>		
<b>Prazo para intervenção/Tempo máximo para resolver uma situação.</b>		
Emergência	Incidente em ocorrência, intervenção imediata passível de interdição da ponte. Prazo para intervenção: nenhum.	5
Grande urgência	Incidente, prestes a ocorrer, intervenção urgente. Prazo para intervenção: urgente.	4
Média	Incidente previsto para breve, intervenção em curto prazo. Prazo para intervenção: o mais cedo possível.	3
Baixa	Indício de incidente futuro, intervenção programada. Prazo para intervenção: pode esperar um pouco.	2
Nenhuma	Incidente imprevisto, indicação de acompanhamento e manutenção programada. Prazo para intervenção: não tem pressa.	1
<b>TENDÊNCIA</b>		
<b>Rumo.</b>		
Extremamente grave	Progressão imediata. Vai piorar rapidamente, pode piorar inesperadamente.	5
Muito grave	Progressão em curto prazo. Vai piorar em pouco tempo.	4
Grave	Progressão em médio prazo. Vai piorar em médio prazo.	3

Pouco grave	Provável progressão em longo prazo. Vai piorar ao longo prazo.	2
Sem gravidade	Não vai progredir. Não vai piorar.	1

Fonte: Piazza (2019)

## 3.2 ESTUDO DE CASO

### 3.2.1 Apresentação da OAE

No âmbito deste estudo, a estrutura especial analisada é uma ponte rodoviária situada na Avenida Vereador Rubens Siqueira Ribas, no bairro Jordão, no município de Guarapuava, no estado do Paraná. Essa ponte enfrenta o desafio de transpor o obstáculo representado pelo Rio Jordão, como pode ser observado na Figura 20. Entre as Obras de Arte Especiais (OAEs) existentes no município de Guarapuava-PR e região, essa ponte foi selecionada devido ao seu histórico e, principalmente, por ser facilmente acessível e estar localizada em um bairro tranquilo, com baixo fluxo de tráfego.

Figura 20 – Localização da OAE



Fonte: Google Earth (2023)

Um aspecto interessante sobre o histórico desta ponte é que, há mais de 40 anos, foi construída uma usina de produção de pasta de papel no Parque Recreativo Jordão, também situado no município de Guarapuava-PR. Em 2017, essa usina foi convertida em uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH). Para que essa conversão fosse viabilizada, tanto o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) quanto o município estabeleceram como requisito a ampliação da ponte sobre o Rio Jordão. A estrutura original consistia apenas em uma pista simples, permitindo a passagem de apenas

um veículo por vez. Por esse motivo, semáforos foram instalados em ambas as extremidades da ponte para controlar o tráfego, conforme ilustrado nas Figuras 21.

**Figura 21 – a), b) e c) – Ponte antes da ampliação**



5)

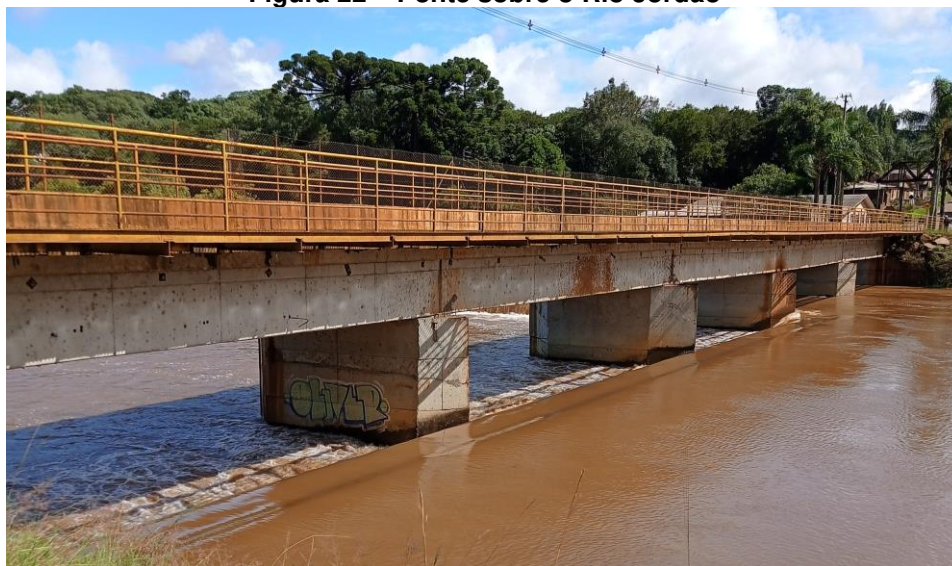
b)



c)

Fonte: Prefeitura de Guarapuava, 2017

No ano de 2017, foi iniciada a obra de ampliação da ponte, resultando em duas pistas de tráfego e eliminando a necessidade dos semáforos. Além disso, uma passarela metálica foi adicionada à estrutura, com uma largura de 1,60 metros, destinada exclusivamente à passagem de pedestres (passeio), visando garantir a segurança dos mesmos. A Figura 22 apresenta o estado atual da ponte após a ampliação e alguns anos de uso.

**Figura 22 – Ponte sobre o Rio Jordão**

Fonte: Autoria própria (2023)

### **3.2.2 Características da OAE**

A ponte em estudo é uma Obra de Arte Especial (OAE) construída utilizando concreto protendido e possui uma capacidade de carga de 35 toneladas. Sua extensão de vão mede 79 metros, onde a largura do vão, entre um pilar e outro é de aproximadamente 15,60 metros, sendo sustentada por quatro pilares, duas vigas longarinas e dez vigas transversinas. A estrutura da ponte consiste em uma laje e um tabuleiro, com uma largura de 8,5 metros, juntamente com lajes em balanço nas extremidades laterais.

Adicionalmente, o projeto contempla um sistema de drenagem, com drenos de diâmetro aproximado de 150mm, o qual tem como objetivo garantir o escoamento da água, e emprega aparelhos de apoio em neoprene, que absorvem movimentos e esforços resultantes das cargas e dilatação da ponte. Há também a presença de quatro juntas de dilatação ao longo da ponte, a qual tem como função principal permitir a expansão e contração térmica dos materiais estruturais, evitando que forças excessivas se acumulem na estrutura e causem danos.

Nas extremidades laterais da ponte, há a inclusão de um guarda-corpo e um passeio, com 1,60 metros de largura, ambos fabricados com material metálico, visando proporcionar segurança aos usuários. Além disso, a ponte apresenta barreiras rígidas (tipo New Jersey) em concreto armado, com a finalidade de prevenir acidentes e intensificar a proteção dos usuários.

Com o intuito de oferecer uma compreensão e visualização mais detalhada dos elementos previamente mencionados, croquis minuciosos podem ser encontrados no Apêndice C, disponibilizando informações adicionais acerca da estrutura da ponte.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de facilitar a visualização e compreensão da estrutura da ponte, foi elaborado um croqui que permite observar a quantidade e identificar os elementos presentes no objeto de estudo, conforme estabelecido no anexo G da NBR 9452 (2019). O croqui também atribui nomes e números aos elementos correspondentes.

Durante a inspeção, foi possível analisar apenas a superestrutura (laje e viga) e a mesoestrutura (pilar e junta), uma vez que a infraestrutura (bloco de coroamento) estava submersa no Rio Jordão, tornando sua inspeção inviável. Abaixo da ponte, havia um acesso que permitiu uma inspeção mais detalhada, proporcionando uma melhor visualização das manifestações patológicas encontradas.

Algumas das manifestações mais comuns identificadas durante a inspeção visual, registradas por meio de fotografias (presentes no Apêndice A), foram as seguintes:

- Trincas e fissuras;
- Manchas de corrosão e umidade na superfície do concreto;
- Corrosão da armadura;
- Segregação do concreto;
- Exposição da armadura; e
- Eflorescência.

Conforme mencionado anteriormente, o principal objetivo deste trabalho é comparar cinco das diversas metodologias existentes para avaliar as manifestações patológicas encontradas em uma OAE. As metodologias utilizadas incluem a do DNIT (2004), da NBR 9452 (2019), GDE/UnB adaptado para OAEs e a Matriz GUT.

Inicialmente, em relação à metodologia estabelecida na norma do DNIT (2004), optou-se por realizar a inspeção rotineira, a qual é utilizada para definir a priorização das estruturas com relação às intervenções a serem realizadas, segundo o SGO, cujo resultado, ou seja, a ficha de inspeção preenchida, encontra-se no Quadro 13.

Esta metodologia divide a OAE em cinco partes: a laje, o vigamento principal, a mesoestrutura, a infraestrutura e a pista/acesso e, para cada um destes são citadas

as manifestações patológicas mais recorrentes e o responsável pela inspeção deve preencher a ficha conforme o que foi visto durante a realização desta.

**Quadro 13 – Ficha de inspeção rotineira – DNIT 010/2004**

<b>OAE: Código:</b> -	<b>Nome:</b> Ponte Rio Jordão	<b>BR-</b> _____	<b>UNIT:</b> _____	<b>RES:</b> _____
<b>Data:</b> 01/05/2023	<b>Inspeção:</b> Rotineira			
<b>COMENTÁRIOS GERAIS</b>			<b>NOTA TÉCNICA : 3</b>	
a) Condições de estabilidade: <b>Boa</b>		Condições de Conservação: <b>Sofrível</b>		
b) Nível de Vibração do Tabuleiro: <b>Normal</b>				
c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária?				<b>NÃO</b>
Já houve alguma anteriormente? <b>NÃO</b>				
OBSERVAÇÕES ADICIONAIS: Segundo o Engenheiro da Secretaria Municipal de Habitação de Guarapuava-PR a ponte nunca passou por uma inspeção. Esta apenas foi reformada uma única vez, quando houve uma inundação na Vila Jordão e acabou carreando uma parte da ponte. E, por fim, em 2017, ocorreu a ampliação desta, como comentado anteriormente.				

<b>1. LAJE</b>	<b>Nota técnica:</b>	<b>2</b>	<b>Local</b>
Buraco (abertura): <b>Iminente</b>			<u>Laje em balanço 1</u>
Armadura Exposta: <b>Muito oxidada</b>			<u>Laje em balanço 1</u>
Concreto desagregado: <b>Muita intensidade</b>			<u>Laje em balanço 1 e 2</u>
Fissuras: <b>Forte infiltração</b>			<u>Laje em balanço 1</u>
Marcas de Infiltração: <b>Forte</b>			<u>Laje em balanço 1</u>
Aspecto de Concreto: <b>Má qualidade</b>			<u>Laje em balanço 1</u>
Cobrimento: <b>Ausente/pouco</b>			<u>Laje em balanço 1</u>

<b>2. VIGAMENTO PRINCIPAL</b>	<b>Nota técnica:</b>	<b>3</b>	<b>Local</b>
Fissuras finas: <b>Grande incidência</b>			<u>Viga longarina 1 e 2, vigas transversinas</u>
Trincas (fissuras $w > 0,3\text{mm}$ ): <b>Algumas</b>			<u>Viga longarina 1 e 2</u>
Armadura principal:			_____
Desagreg. De Concreto: <b>Grande incidência</b>			<u>Viga longarina 1 e 2</u>
Dente Gerber:			_____
Deformação (Flecha):			_____

**Quadro 13 – Ficha de inspeção rotineira – DNIT 010/2004**

Aspectos do Concreto: <b>Má qualidade</b>	<u>Viga longarina 1 e 2</u>
Cobrimento: <b>Pouco</b>	<u>Viga longarina 1 e 2</u>

<b>3. MESOESTRUTURA</b>	<b>Nota técnica:</b>	<b>2</b>	<b>Local</b>
Armadura exposta;			
Concreto desagregado: <b>Grande incidência</b>			Pilares 1, 2, 3 e 4
Fissuras: <b>Pouca incidência</b>			Pilares 1, 2, 3 e 4
Aparelho de Apoio:			
Aspecto do Concreto: <b>Má qualidade</b>			Pilares 1, 2, 3 e 4
Cobrimento:			
Desaprumo:			
Deslocabilidade dos Pilares:			

<b>4. INFRAESTRUTURA</b>	<b>Nota técnica:</b>	<b>-</b>	<b>Local</b>
Recalque de Fundação:			-
Deslocamento de Fundação:	<b>Não foi possível</b>		-
Erosão Terreno de Fundação:	<b>inspecionar</b>		-
Estacas Desenterradas:			-

<b>5. PISTA/ACESSO</b>	<b>Nota técnica:</b>	<b>3</b>	<b>Local</b>
Irregularidades no Pav.: <b>Muita intensidade</b>			Pista de rolamento
Junta de Dilatação: <b>Muito problemática</b>			Pista de rolamento
Acessos x Ponte: <b>Concordância problemática</b>			Pista de rolamento
Acidentes com Veículos:			-

Fonte: Autoria própria (2023)

Uma outra metodologia empregada é aquela estabelecida na norma ABNT NBR 9452 (2019), na qual o resultado da inspeção também é documentado por meio de uma ficha (Quadro 14). Essa ficha é dividida em três partes principais: informações gerais, registro das manifestações patológicas e classificação da OAE. No processo de classificação, utiliza-se como referência o Quadro 2 deste trabalho, o qual atribui notas de classificação para cada um dos critérios: estrutural, funcional e de durabilidade.



**Quadro 14 – Ficha de inspeção rotineira – NBR 9452**

Inspeção rotineira (ano): 2023	OAE Código: -
Jurisdição (Órgão, Concessão ou outros):	Data da inspeção: 01/05/2023
<b>PARTE I – Informações gerais</b>	
<b>A – Identificação e localização</b>	
Via ou município: Guarapuava-PR	Sentido:
Obra: Ponte sobre o Rio Jordão	Localização (km ou endereço): Vila Jordão
<b>B – Histórico das inspeções</b>	
Inicial: não foi realizada	Última rotineira: não há
Especial: não foi realizada	
<b>C – Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>	
Reparos: Quando houve inundação na Vila Jordão	
Alargamento: Em 2017 houve ampliação da ponte	
Reforços: Devido à uma exigência do IAP	
<b>PARTE II – Registro de manifestações patológicas</b>	
<b>A – Elementos estruturais</b>	
Superestrutura: armadura exposta, concreto desagregado, cobertura deficiente, carbonatação, falha de concretagem, fissuras, deslocamento	
Mesoestrutura: desagregação, fissuras, trincas, manchas	
Infraestrutura: não foi possível analisar	
Aparelhos de apoio: necessária inspeção mais minuciosa para analisar os defeitos deste elemento.	
Juntas de dilatação: necessária inspeção mais minuciosa para analisar os defeitos deste elemento.	
Encontros: necessária inspeção mais minuciosa para analisar os defeitos deste elemento.	
<b>B – Elementos da pista ou funcionais</b>	
Pavimento: descontinuidade, desgaste superficial, rachaduras	
Acostamento e refúgio: não há	
Drenagem: mal executada, ao longo da ponte é possível ver os pontos de drenagem pois há manchas de umidade	
Guarda-corpos: carbonatação, contaminação por cloretos, cobertura deficiente	
Barreiras rígidas/Defensas metálicas: concreto desagregado, fissuras, mancha, umidade, desagregação	
<b>C – Outros elementos</b>	
Iluminação: pouca iluminação	
Sinalização: não há sinalização horizontal (pista de rolamento), nem vertical (placas)	
Gabaritos: ok	
Proteção de pilares: não há	
<b>D – Informações complementares</b>	
Observou-se um comportamento em comum ao longo da ponte, referente à drenagem da ponte, observou-se manchas ao longo das vigas longarinas, demonstrando má execução desta.	
<b>E – Recomendações de terapia</b>	
As lajes em balanço encontram-se em estado crítico, se comparado aos demais elementos estruturais da ponte. Sendo assim, há necessidade de intervenção imediata.	
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>	

Estrutural: 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.	Funcional: 3 – Regular – A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.
Durabilidade: 3 – Regular – 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.	
<b>Justificativas</b>	
A OAE no geral encontra-se em estado regular, aparentemente sem nenhum dano que possa comprometer sua estabilidade global, bem como referente à durabilidade, a OAE apresenta pequenas e poucas anomalias que comprometem sua vida útil. Com relação à funcionalidade deste, desempenha sua função, no entanto gera desconforto ao usuário por conta do estado da pista de rolamento e do guarda-corpo.	

Fonte: Aatoria própria (2023)

Além dessas, há também a apresentação dos resultados da metodologia GDE/UnB, onde primeiramente, é apresentada a ficha descritiva da estrutura (Quadro 15).

**Quadro 15 – Ficha descritiva da estrutura**

FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA	
Nome: Ponte Rio Jordão	
Localização: Parque Municipal do Rio Jordão (Av. Ver. Rubéns Siqueira Ribas, s/n – Entre Rios, Guarapuava – PR)	
Data da inspeção: 01/05/2023	Extensão: 78,30
Idade: não se tem esta informação	Número de vãos: 5
Sistema construtivo: Concreto armado	
Largura: 8,50 m	
Classe de agressividade ambiental (NBR 6118: 2014): CAA II	
Observações: Trata-se de uma construção antiga (não se sabe o ano exato) que passou por reparos após a cheia do Rio Jordão em 2014. Já em 2017, após uma exigência do IAP esta passou por ampliação e reforço de sua estrutura.	
RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:	
Nome (s): Juliana Brizola Chaves	
Profissão: Estudante	
Cargo/função: -	
Empresa/órgão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná	
Projetos consultados: Apêndice C	
Empresa construtora e projetista: Prefeitura Municipal de Guarapuava	

Fonte: Aatoria própria (2023)

Para cada um dos elementos da ponte, é necessário adotar um Fator de Ponderação ( $F_p$ ) exclusivamente para o item “Fissuras” nas planilhas de inspeção, conforme descrito no Anexo B, pois, para os demais itens, a própria metodologia já atribui os fatores correspondentes. Em seguida, devem ser atribuídos valores de Fator de Intensidade ( $F_i$ ) para todos os danos encontrados em cada elemento. O próximo passo consiste em calcular o grau de dano ( $D$ ) utilizando as Equações 1 e 2, mencionadas anteriormente. Como exemplo, no Quadro 16 é apresentado o resultado obtido para a Viga Longarina 1, entretanto, esse cálculo deve ser realizado para cada um dos elementos da OAE.

**Quadro 16 –  $F_p$ ,  $F_i$  e  $D$  para cada um dos elementos estruturais da ponte**

VIGAS LONGARINAS				
Nome do Elemento	Viga Longarina 1			
Local	Montante			
Danos	$F_p$	$F_i$	$D$	Croquis/Observações 
Carbonatação	3	2	4,8	
Cobrimento deficiente	3	2	4,8	
Contaminação por cloretos	4	2	6,4	
Corrosão de armaduras	5	2	8	
Desagregação	3	2	4,8	
Desplacamento	3	2	4,8	
Eflorescência	2	2	3,2	
Falha de concretagem	2	1	1,6	
Fissuras	3	2	4,8	
Flechas	5	0	0	
Manchas	3	2	4,8	
Sinais de esmagamento	4	0	0	
Umidade	3	2	4,8	

Fonte: Autoria própria (2023)

Posteriormente, é necessário calcular o grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ) para cada um deles, com base no croqui fornecido, utilizando a Equação 3 que foi apresentada anteriormente. Em seguida, com os valores obtidos, é possível calcular o grau de dano da família de elementos ( $G_{df}$ ), conforme indicado na Equação 4. No Quadro 17, são apresentados os resultados obtidos para cada um dos elementos da OAE. Vale ressaltar que, ao calcular o  $G_{df}$ , foram considerados apenas os valores em que  $G_{de} \geq 15$ , uma vez que valores abaixo desse limiar indicam que o estado do elemento é considerado aceitável.

Quadro 17 – Gde e Gdf

Elementos	$\Sigma D$	G <sub>de</sub>	G <sub>df</sub>	Fr	K
Pista de rolagem	56	51,429	51,429	2	102,86
Guarda-corpo 1	72	34,444	42,186	1	42,19
Guarda-corpo 2	72	34,444			
Barreira rígida 1	48,8	26,754	33,803	1	33,80
Barreira rígida 2	68	39,529			
Cortina 1	56	14,857	0	3	0,00
Cortina 2	56	14,857			
Pilar 1	74,4	71,613	88,141	5	440,70
Pilar 2	57,6	38			
Pilar 3	57,6	38			
Pilar 4	24	8,64			
Viga longarina 1	52,8	14,788	0	5	0,00
Viga longarina 3	52,8	14,788			
Vigas transversinas 1 a 10	33,6	14,095			
Laje em balanço 1	34,4	14,14	73,333	4	293,33
Laje em balanço 2	240	73,333			

Fonte: Autoria própria (2023)

Para concluir, a partir desses valores, é possível calcular o grau de deterioração da estrutura (Gd) utilizando a Equação 5 e, assim, classificá-la de acordo com o Quadro 8. Nesse processo, é essencial considerar o fator de relevância estrutural conforme indicado no Quadro 7. Com base nos cálculos realizados, obteve-se um valor de 76,78 para o Gd, o que indica um “Nível de deterioração alto”. Portanto, são recomendadas a inspeção especial emergencial e a realização imediata de intervenções.

Outra metodologia a ser examinada é a da MBEI/AASHTO (2019). Para iniciar a aplicação dessa metodologia, é necessário, inicialmente, utilizar a lista de elementos definidos por material, conforme apresentado no Quadro 10 (item 3.1 do manual). O objetivo é determinar quais elementos da OAE apresentam manifestações patológicas. No mesmo quadro, pode-se observar que cada elemento da OAE possui uma unidade de medida associada para dimensioná-lo, a fim de estabelecer a porcentagem presente em cada condição de estado (CS), como indicado no Quadro 11.

Um passo importante na aplicação da metodologia é a identificação dos defeitos encontrados na OAE. Para esse propósito, o próprio manual fornece os

defeitos mais comuns que podem ocorrer em cada tipo de material (concreto armado, concreto protendido, madeira, metal) os quais uma OAE pode ser construída.

Considerando que o objeto de estudo deste trabalho é uma ponte de concreto armado, utilizou-se como base o item 3.3 do referido manual para aplicar a metodologia. Assim, o Quadro 18 apresenta os elementos analisados com base no quadro de elementos mencionado anteriormente.

**Quadro 18 – Definição dos elementos da OAE**

<b>Nº do elemento</b>	<b>Descrição do elemento</b>	<b>Classificação</b>	<b>Unid. De medida</b>
12	Tabuleiro em concreto armado	NBE	m <sup>2</sup>
38	Laje em balanço 1 (em concreto armado)	NBE	m <sup>2</sup>
	Laje em balanço 1 (em concreto armado)	NBE	m <sup>2</sup>
331	Barreira rígida em concreto armado	NBE	m
116	Viga longarina 1 (em concreto armado)	NBE	m
	Viga longarina 2 (em concreto armado)	NBE	m
155	Vigas transversinas em concreto armado	NBE	m
205	Pilar 1 (em concreto armado)	NBE	un
	Pilar 1 (em concreto armado)	NBE	un
	Pilar 1 (em concreto armado)	NBE	um
215	Cortinas em concreto armado	NBE	m
220	Fundação	NBE	m
330	Guarda corpo metálico	NBE	m

Fonte: Autoria própria (2023)

A seguir, é necessário realizar a apresentação dos defeitos identificados durante a inspeção. Para isso, utilizou-se como referência os defeitos descritos no próprio manual, tais como desagregação, armadura exposta, eflorescência/manchas de ferrugem, fissuras e abrasão/erosão, os quais estão detalhados no Apêndice B.

Após a identificação de cada defeito para cada elemento analisado, é possível determinar em qual estado de condição (CS) cada um deles se encontra. Para auxiliar nessa classificação, foram utilizados os diagramas de estimativas de área presentes no manual, como exemplificado na Figura 19 . Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 - Apresentação dos resultados

Nº do elemento	Descrição do elemento	Unid	Qtd	CS 1	CS 2	CS 3	CS 4	Defeito #
12	Tabuleiro em concreto armado	m <sup>2</sup>	491,87		491,9			5
38	Laje em balanço 1 (em concreto armado)	m <sup>2</sup>	117,68	100	17,68			1
	Laje em balanço 2 (em concreto armado)	m <sup>2</sup>	117,68	58,8		58,8		1,2
331	Barreira rígida em concreto armado	m	78,30	70,00	5	3,3		1,3
116	Viga longarina 1 (em concreto armado)	m	78,30		50	28,3		3
	Viga longarina 2 (em concreto armado)	m	78,30		50	28,3		2
155	Vigas transversinas em concreto armado	m	36,5		36,5			2,3
205	Pilar 1 (em concreto armado)	un	4			1		1,3,4
	Pilar 2 (em concreto armado)				1		1,4	
	Pilar 3 (em concreto armado)				1		1,4	
	Pilar 3 (em concreto armado)				1		1,4	
330	Guarda corpo metálico	m	78,30		78,3			6

Fonte: Autoria própria (2023)

Além disso, a última metodologia analisada foi a Matriz GUT, na qual foram avaliados os seguintes problemas: corrosão da armadura, desagregação do concreto, manchas, eflorescência, trincas e fissuras para cada um dos elementos. Com base nessas avaliações, foram atribuídos valores de gravidade, urgência e tendência, de acordo com o Quadro 12, resultando no grau de priorização (Quadro 20).

Quadro 20 - Matriz GUT

MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA			G	U	T	GUT	GRAU DE PRIORIZAÇÃO	
PROBLEMA	SUBGRUPO							
Corrosão da armadura	Infraestrutura	Bloco de coroamento	-	-	-	-	-	
	Mesoestrutura	Pilar	Pilar 1	1	1	2	2	9º
			Pilar 2	1	1	2	2	
			Pilar 3	1	1	2	2	
			Pilar 4	1	1	2	2	
	Superestrutura	Laje	Laje em balanço 1	2	2	3	12	6º
			Laje em balanço 2	3	3	4	36	3º
		Viga	Viga longarina 1	2	2	2	8	7º
			Viga longarina 2	3	3	4	36	3º
			Vigas transversinas 1 a 10	2	2	3	12	6º
Desagregação do concreto	Infraestrutura	Bloco de coroamento	-	-	-	-	-	
	Mesoestrutura	Pilar	Pilar 1	2	2	3	12	6º
			Pilar 2	2	2	3	12	
			Pilar 3	2	2	3	12	
			Pilar 4	2	2	3	12	
	Superestrutura	Laje	Laje em balanço 1	2	2	3	12	4º
			Laje em balanço 2	3	3	3	27	
		Viga	Viga longarina 1	2	2	3	12	6º
			Viga longarina 2	3	3	4	36	3º
			Vigas transversinas 1 a 10	2	2	2	8	7º
Manchas	Infraestrutura	Bloco de coroamento	-	-	-	-	-	
	Mesoestrutura	Pilar	Pilar 1	3	3	5	45	2º
			Pilar 2	3	3	5	45	
			Pilar 3	3	3	5	45	
			Pilar 4	3	3	5	45	
	Superestrutura	Laje	Laje em balanço 1	2	2	3	12	6º
			Laje em balanço 2	3	3	5	45	2º
		Viga	Viga longarina 1	2	2	3	12	6º
Viga longarina 2			2	2	3	12		

		Vigas transversinas 1 a 10	1	1	2	2	9°	
MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA			G	U	T	GUT	GRAU DE PRIORIZAÇÃO	
PROBLEMA	SUBGRUPO							
Eflorescência	Infraestrutura	Bloco de coroamento	-	-	-	-	-	
	Mesoestrutura	Pilar	Pilar 1	1	1	1	1	17°
			Pilar 2	1	1	1	1	10°
			Pilar 3	1	1	1	1	
			Pilar 4	1	1	1	1	
	Superestrutura	Laje	Laje em balanço 1	1	1	1	1	8°
			Laje em balanço 2	2	1	2	4	
		Viga	Viga longarina 1	2	2	3	12	6°
			Viga longarina 2	2	2	3	12	
			Vigas transversinas 1 a 10	1	1	2	2	9°
Fissuras e trincas	Infraestrutura	Bloco de coroamento	-	-	-	-	-	
	Mesoestrutura	Pilar	Pilar 1	3	4	5	60	1°
			Pilar 2	3	4	5	60	
			Pilar 3	3	4	5	60	
			Pilar 4	3	4	5	60	
	Superestrutura	Laje	Laje em balanço 1	2	2	2	8	7°
			Laje em balanço 2	2	2	2	8	
		Viga	Viga longarina 1	2	3	3	18	5°
			Viga longarina 2	2	3	3	18	
			Vigas transversinas 1 a 10	2	2	2	8	7°

Fonte: Autoria própria (2023)

Portanto, após a exposição de todas as metodologias e sua aplicação em relação ao objeto de estudo, é necessário proceder à comparação dessas metodologias em relação a critérios específicos: tempo de aplicação da metodologia, nível de dificuldade, confiabilidade, dados considerados e riqueza de detalhes.

No que diz respeito ao critério de "tempo de aplicação da metodologia", a metodologia que demandou maior tempo para aplicação foi a do GDE/UnB, devido à consideração de vários critérios e cálculos necessários, conforme demonstrado



anteriormente, para a sua utilização. Em seguida, a metodologia da AASHTO também exigiu um tempo considerável de aplicação, especialmente para a definição das quantidades para cada estado de condição (CS). Continuando a comparação, as metodologias do DNIT 010 e da NBR 9452 exigiram praticamente o mesmo tempo de aplicação. Por fim, a Matriz GUT, por se tratar de uma metodologia mais simples em comparação com as demais, demandou menos tempo de aplicação.

No que se refere ao tempo de aplicação das metodologias, tanto as abordagens do GDE/UnB quanto da AASHTO exigiram um tempo substancialmente maior em comparação com as demais metodologias, conforme Figura 23. Isso ocorre devido ao fato de que a metodologia do GDE/UnB emprega procedimentos específicos, conforme evidenciado no fluxograma apresentado na Figura 17, enquanto a metodologia da AASHTO demanda um tempo considerável, especialmente para a determinação das quantidades correspondentes a cada estado de condição (CS). Em contrapartida, as outras metodologias requerem apenas o preenchimento de uma ficha de inspeção, o que agiliza o processo.

Com relação ao critério de "nível de dificuldade", a metodologia da AASHTO é a mais difícil, pelo mesmo motivo mencionado anteriormente (a determinação das quantidades para cada CS). A metodologia do GDE/UnB apresenta um nível de dificuldade moderado, principalmente devido aos critérios considerados, mas a metodologia é bem detalhada e de utilização simples. As demais metodologias possuem um nível de dificuldade significativamente inferior a essas.

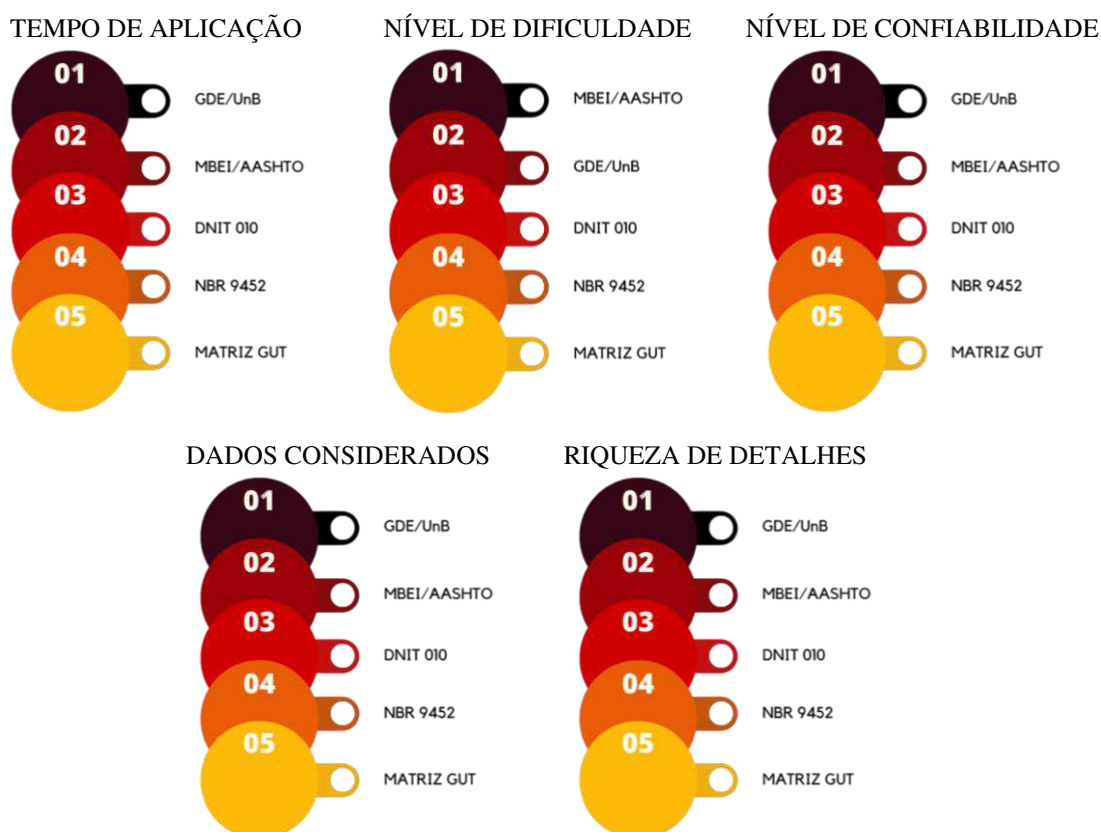
Já à respeito dos critérios de "nível de confiabilidade", "dados considerados" e "riqueza de "detalhes" seguem o padrão das demais (Figura 23), pois as metodologias da AASHTO e do GDE/UnB levam em consideração diversos dados e características, aprofundando-se mais nos defeitos encontrados em cada um dos elementos, ou seja, são mais ricas em detalhes e, conseqüentemente, transmitem maior confiança durante sua aplicação.

Em resumo, verificou-se que as metodologias do GDE/UnB e da AASHTO apresentam um maior nível de detalhamento e critérios melhores estabelecidos no que tange à atribuição das notas para as manifestações patológicas. Isto posto, critérios bem definidos e estabelecidos podem contribuir para uma maior padronização na aplicação das metodologias, reduzindo a subjetividade e a interpretação de diferentes inspetores para a execução das inspeções. Desta forma, salienta-se que alguns dos critérios considerados por ambas as metodologias

(GDE/UnB e AASHTO) poderiam ser considerados para a incorporação nos procedimentos atualmente aplicados pelo DNIT e NBR 9452 (2019).

Outro aspecto relevante neste contexto diz respeito à utilização de tais metodologias para a gestão e hierarquização de prioridades de intervenção em sistemas de gerencia de pontes e viadutos. Como pode ser observado, a NBR 9452 (2019) estabelece apenas cinco notas para o estado de conservação das OAEs (1-5), diferentemente da metodologia GDE/UnB, que fornece uma nota (grau de deterioração da estruturas - Gd) calculada com base nos fatores: fator de ponderação ( $F_p$ ), fator de intensidade do dano ( $F_i$ ), grau do dano (D), grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ), grau de deterioração da família de elementos ( $G_{df}$ ) e o fator de relevância estrutural ( $F_r$ ), conforme descrito anteriormente. Desta forma, a utilização do grau de deterioração (Gd) pode facilitar a hierarquização e identificação de prioridades de manutenção de pontes de concreto armado.

**Figura 23 – Comparação entre as metodologias**



Fonte: Autoria própria (2023)

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal do presente estudo consiste em apresentar cinco dentre as várias metodologias empregadas na inspeção de pontes, a fim de compará-las com base em critérios como tempo de aplicação da metodologia, nível de dificuldade, confiabilidade, dados considerados, riqueza nos detalhes, além de abordar outras questões pertinentes para a conclusão deste trabalho.

Conforme evidenciado nos resultados, a metodologia que demanda maior tempo de aplicação é aquela que também apresenta maior nível de dificuldade, confiabilidade, dados considerados e riqueza nos detalhes, justificando, assim, o tempo requerido para sua aplicação.

Além disso, as informações obtidas durante inspeções de rotina alimentam os sistemas de gestão de OAEs (Obras de Arte Especiais), sendo que o sistema em foco neste estudo é o SGO (Sistema de Gerenciamento de Obras). Como mencionado anteriormente, dentre as metodologias apresentadas, apenas a metodologia do DNIT (2004) é considerada pelo SGO. Essa metodologia visa classificar a condição da OAE por meio de uma nota técnica que varia de 1 a 5, sendo que diversas OAEs acabarão sendo classificadas na mesma condição de estabilidade.

A metodologia descrita na NBR 9452 (2019) não difere muito nesse aspecto, pois também atribui uma nota de classificação de 1 a 5, dependendo da condição da OAE (sendo 5 excelente, 4 boa, 3 regular, 2 ruim e 1 crítica). A diferença entre as metodologias reside no fato de que a NBR 9452 (2019) divide essa classificação em categorias de caracterização, como estrutural, funcional e de estabilidade.

Já a metodologia GDE/UnB fornece um resultado expresso em um número, que de acordo com Verly (2015), pode variar de 1 a 282,8, ou seja, é mais abrangente do que a simples classificação em cinco números utilizada pelas outras metodologias. Como mencionado anteriormente, Verly (2015) apresentou em sua dissertação dados e justificativas mais detalhados sobre essa metodologia, com o intuito de que ela seja utilizada como uma opção para a inspeção e priorização de OAEs rodoviárias, conforme mencionado em sua motivação para a realização do trabalho.

A metodologia MBEI/AASHTO adota uma abordagem distinta das demais, pois não atribui uma nota para classificar os elementos individuais nem a Obra de Arte Especial (OAE) como um todo. Em vez disso, utiliza unidades de medida para cada elemento, a fim de quantificar a quantidade do elemento presente em uma

determinada condição de estado (CS). Para auxiliar nesse processo, o manual disponibiliza várias tabelas que auxiliam o inspetor durante a inspeção e a aplicação subsequente da metodologia. Assim como a metodologia GDE/UnB, a MBEI/AASHTO é abrangente e aborda aspectos diversos. No entanto, possui um nível de dificuldade ligeiramente maior, embora todas as informações necessárias estejam disponíveis no próprio material fornecido.

E, por fim, tal qual apresentado nas metodologias anteriores, a Matriz GUT classifica as manifestações patológicas encontradas utilizando notas de 1 a 5. No entanto, essa abordagem leva em consideração os fatores de gravidade, urgência e tendência. Um diferencial importante dessa metodologia é que ela não atribui uma nota à estrutura como um todo, mas fornece o grau de priorização de intervenção para cada elemento em relação à manifestação patológica específica encontrada.

Portanto, em relação aos critérios utilizados para a comparação entre as metodologias apresentadas e às demais considerações sobre os sistemas de gestão de OAEs, a metodologia que se destaca é a do GDE/UnB e a da MBEI/AASHTO, devido aos procedimentos adotados durante sua inspeção, o que a torna menos subjetiva e baseada em critérios mais confiáveis.

## REFERÊNCIAS

- AASHTO. **Manual for Bridge Element Inspection**. 2ª edição, IHS Markit: Washington, DC. 2019
- ALMEIDA, J. M. M. R. M. O. Sistema de gestão de pontes com base em custos de ciclo de vida. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013
- Anuário CNT do Transporte. 2022. Brasília: **CNT**, 2023. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/Rodoviario/1-1-/Principais-dados>
- ARAÚJO et al. **Contribuições para os procedimentos de inspeção em Pontes, Viadutos e Passarelas**. 2021.
- ARIVABENE, Antonio Cesar. Patologias em estruturas de concreto armado: Estudo de caso. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, v. 3, n. 10, p. 1-22, 2015
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2019
- BOLDO, P., Análise Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Publicação <sup>a</sup>.DM-0<sup>a</sup>1A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002, 295 p
- CASCUDO, O. O controle da corrosão de armaduras em concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas. São Paulo: Ed. Pini, 1997.
- CASTRO, E.K., Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. Dissertação (Mestrado em Estruturas), Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994.
- CAVALCANTE, Gustavo Henrique Ferreira. Pontes em concreto armado: Análise e dimensionamento. São Paulo, Blucher, 2019. 462 p.
- CEB-FIB. Bull-tin 1– - Management, maintenance and strengthening of concrete structures, Technical Report, 2002.
- CORSINI, Rodnei. Trinca ou fissura. **São Paulo: Técnica**, v. 160, 2010.
- DA SILVA, Maisa Beatriz Marinho Fausto; DE MELO, Ricardo Almeida. **Condições de Pontes Rodoviárias: Cenário, Diagnóstico e Manutenção**.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT. **Manual de Recuperação de Pontes Rodoviárias, Instituto de pesquisas rodoviárias**. Rio de Janeiro, 2017.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual Técnico de Recuperação de Estruturas de Obras de Arte Especiais**. Strata Engenharia. Paraná, 2021.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Norma 010: **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.
- EUQUERES, P. **Metodologia de inspeção em estruturas de pontes de concreto armado**. 2011. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia–Civil– - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- FERREIRA, João Vitor de Souza. **Inspeção e monitoramento de obras de arte especiais com vista a manutenção preditiva**. p. 11– – 11– - UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.
- FIORITI, Cesar Fabiano. **Estudo de patologia em estruturas de concreto armado**.2016. 292 f. Tese (Livre Docência– - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2016.
- FONSECA, Régis Pamponet da. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção**. 2007. 213 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

- FONTES, F. F. VERLY, R. C. SANTOS, G. S. MAGALHÃES, E. P. **A bridge management system for Brazil**. In: IABM-S 201- - Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability, Stresa, Italy, 537-543, 2014.
- FU, Zhongqiu et al. **Statistical analysis of the causes of bridge collapse in China**. In: Forensic Engineering 2012: Gateway to a Safer Tomorrow. 2013. p. 75-83.
- GENTIL, V. Corrosão. 5ª ed. Rio de Janeiro. Ed. LTC, 2007.
- GUZZO, G. **Avaliação do comportamento do concreto convencional e do concreto de ultra-alto desempenho frente à contaminação por cloretos**. TCC (Graduação), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2018.
- HELENE, P. **A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto**. IBRACON, São Paulo, 2003
- HELENE, P. **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. Editora Reabilitar, São Paulo, 2003.
- HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1992.
- KEPNER, Charles H.; TREGOE, Benjamin B. O administrador racional. São Paulo: Atlas, 1981.
- KLEIN, d. et al. **Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte**. XXV Jornada Sul Americana de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, p185-196, novembro, 1991.
- LANER, Felice José. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre**. 2001.
- LEONHARDT, F. **Construções de concreto: princípios básicos da construção de pontes de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.
- LIEBENBERG, A. C. **Concrete Bridges: design and construction**. 1ª ed. New York: Longman Scientific & Technical, 1992.
- LOPES, B.A.R., **Sistema de manutenção estrutural para grandes estoques de edificações: Estudo para a inclusão do componente Estrutura de Concreto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998, 308p.
- LOURENÇO, Líbia C. et al. **Parâmetros de avaliação de patologias em obras-de-arte especiais**. Revista Engenharia Civil, Braga, n. 34, p. 5-14, 2009. Disponível em: <[http://www.civil.uminho.pt/revista/n34/Pag\\_5-14.pdf](http://www.civil.uminho.pt/revista/n34/Pag_5-14.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- MACEDO, et. al. **Manifestações patológicas causadas pela umidade devido à falha ou ausência de impermeabilização: estudo de caso**. C-NPAR2017 - Recife, 30 e 31 de agosto de 2017
- MASON, J. **Pontes em concreto armado e protendido: princípios do projeto e cálculo**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 2ª ed. Ed: IBRACON. São Paulo, 2014.
- MOL, Paulo Sérgio. **Obras de arte especiais: inspeção de estruturas de concreto de pontes e viadutos**. 40 p. Pós Graduação (Patologia, Terapia e Manutenção de Edificações) - PUC, Belo Horizonte, 2018.
- MONTEIRO, E. C. B. **Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras**. 2002. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.
- NYS DOT. **Bridge Inspection Manual**. New York State Department of Transportation: Albany, NY. 2017
- OLIVEIRA, Alexandre Magno. **Fissuras e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 96f. Monografia (Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.
- OLIVEIRA, et. al. **Ocorrência de lixiviação no concreto das galerias da UHE de Tucuruí – Pará**. Brazilian Journal of Development - ISSN: 2525-8761. 2022.

- PFEIL, W. Pontes: curso básico – projeto, construção e manutenção. Rio de Janeiro: Campus, 1983
- PFEIL, W. **Pontes em Concreto Armado** v. 1 e v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 1985
- PIANCASTELLI, –Élvio M. - Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado - Ed. Departamento de Estruturas –a EEUF–G - 1997 - 160p.
- PIAZZA, Sara Roca. **Avaliação de manifestações patológicas na Ponte Rio do Carmo através da ferramenta GUT**. 2019.
- PONTE DO RIO JORDÃO SERÁ DUPLICADA. Prefeitura de Guarapuava, Guarapuava-PR, 03/07/2017. Disponível em: <https://www.guarapuava.pr.gov.br/noticias/ponte-do-rio-jordao-sera-duplicada/>
- RIBEIRO, Daniel. **Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2018. 927 p.
- SALIBA JUNIOR, C. C. **Técnicas de recuperação de estruturas de concreto armado sob efeito da corrosão das armaduras**. Contribuição Técnica da Disciplina Reologia e Tecnologia do Concreto. Pós-graduação em Engenharia de Materiais e Construção – DEMC, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2008.
- SILVA, F. G. Estudo de concreto de alto desempenho frente à ação de cloretos. 2006. 236p. Tese (Doutorado) – Área de Interunidades em Ciência e Engenharia dos Materiais – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.
- SOUZA, Vicente Custódio de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.
- TAKEYA, T. DEBS, M. K. E. Introdução às pontes de concreto: Texto provisório de apoio à disciplina SET – 412. 221 p. USP - ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, São Carlos, 2007.
- THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. Oficina de Textos, 2020.
- TASCA, M. **Estudo da carbonatação natural de concretos com pozolanas: monitoramento em longo prazo e análise da microestrutura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- TIMERMAN, J. Inspeção de pontes: o estágio atual da normalização Arte Especiais. 198p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília. 2015.. São Paulo. 2015
- VASCONCELOS, F. **Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado – estudo de caso**. TCC (Graduação), Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia. 2018
- VERLY, R. C. Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-015A/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 178p, 2015.
- VITÓRIO, José Afonso Pereira. Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão. 1ª ed. Recife, CREA-PE, 2002.

## ANEXOS

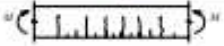

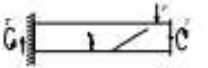
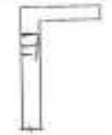


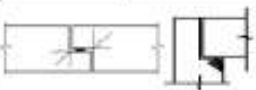



## ANEXO A – CRITÉRIOS PARA ATRIBUIÇÃO DE NOTAS AVALIATIVAS AOS ELEMENTOS DE UMA OAE

NOTA	DANOS NO ELEMENTO/ INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL	AÇÃO CORRETIVA	CONDIÇÕES 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 estejam gerando insuficiência estrutural	Nada a fazer; apenas serviços de manutenção	Boa	Obra sem problemas importantes
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, colocar-se o problema em observação sistemática.	Boa aparentemente	<b>Obra potencialmente problemática</b> Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da insuficiência estrutural.
2	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural na OAE, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	<b>Obra problemática</b> Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da estrutura. Inspeções intermediárias <sup>1</sup> são recomendáveis para monitorar os problemas.
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na OAE; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) - ou em alguns casos, substituição da obra - deve ser feita sem tardar.	Precária	<b>Obra crítica</b> Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação da obra ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com leituras contínuas de deslocamentos e deformações etc.



## ANEXO B – VALORES DE $F_p$ SUGERIDOS EM FUNÇÃO DA TIPOLOGIA DAS FISSURAS

	Fissuras*	Descrição	Croquis	$F_p$
ESTADO PLÁSTICO	de retração plástica do concreto	- comuns em lajes e paredes - paralelas, superficiais e afastadas de 0,3 a 1 m.		2
	de assentamento do concreto	- acompanham as armaduras - em pilares, ficam abaixo dos estribos; - interação com armaduras vizinhas		3
	de movimentação de fôrmas	- indicam mau posicionamento, má fixação ou resistência insuficiente de fôrmas e escoramentos		3
ESTADO ENDURECIDO	de retração do concreto por secagem	- vigas podem ocasionar fissuras nos pilares e vice-versa, por diferenças de rigidez (a) - aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b) - indicam restrição de movimentos - profundidade reduzida - aberturas de 0,1 a 0,2 mm		3
	mapeadas	- mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes - abertura e extensão reduzidas - indicam desempenho excessivo. - danos apenas estéticos, em geral		2
	de variações de temperatura	- em geral, normais ao eixo de elementos lineares - indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação e/ou sua inexistência		3

Fissuras*	Descrição	Croquis	$F_p$
de flexão em vigas	- normais ao eixo, em trechos de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto		4
de força cortante - flexão em vigas	- inclinadas nas duas faces - podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios		4
de cortante, momentos de torção e flexão em vigas	- inclinadas em uma face - na face oposta: menor abertura e inclinação		4
de flexo-tração em pilares	- normais ao eixo do pilar na face tracionada - paralelas ao eixo na face comprimida, podem indicar esmagamento do concreto - mais próximas de extremidade com maior momento		5
de compressão	- paralelas ao eixo e convergindo para o centro nas proximidades de ruptura - indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos		5
de carga concentrada em área reduzida	- comuns em apoios de postes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos - indicam armadura deficiente de flexagem e mau detalhamento		3
em apoios do tipo gerber (vigas e pilares)	- comuns em postes e estruturas pré-moldadas - indicam deficiência de aparelhos de apoio e/ou detalhamento inadequado		3
de flexão em lajes	- na face inferior, paralelas aos vãos com continuidade ou vãos maiores, se estendendo em direção aos cantos - na face superior, paralelas aos e bordas com continuidade		4
de momentos volventes	- em cantos de lajes extremas, podendo abrir nas duas faces - influenciadas por variações de temperatura e retração		3
de punção	- traçado circular e/ou radial em torno do pilar		5

ERROS DE PROJETO EXECUÇÃO OU CARGAS EXCESSIVAS

## ANEXO C – DEFEITOS NOS ELEMENTOS DE PONTES DE CONCRETO ARMADO

Defeitos	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4
	BOM	REGULAR	RUIM	SEVERO
Delaminação/Lascas (1080)	Nenhum	Delaminado. Lasca de 1 pol. ou menos de profundidade ou 6 pol. ou menos de diâmetro	Lasca maior que 1 pol. de profundidade ou maior que 6 pol. de diâmetro. Não se faz necessária a revisão estrutural	<p>Necessita de uma revisão estrutural para determinar o efeito na resistência ou capacidade de manutenção do elemento ou ponte; OU uma revisão estrutural foi concluída e os defeitos afetam a resistência ou a capacidade de manutenção do elemento ou ponte.</p>
Armadura exposta/manchas de corrosão (1090)	Nenhum	Presente sem perda de seção mensurável	Apresenta perda de seção mensurável, mas não se faz necessária a revisão estrutural	
Eflorescência/Mancha de ferrugem (1120)	Nenhum	Superfície branca sem acúmulo ou lixiviação sem manchas de ferrugem	Acúmulo pesado com manchas de ferrugem	
Fissuras (1130)	Fissuras insignificantes ou fissuras de largura moderada que foram seladas	Rachaduras de largura moderada não seladas ou rachaduras de padrão moderado (mapa) não seladas	Rachaduras largas ou rachaduras de padrão pesado (mapa)	
Abrasão/Desgaste (1190)	Sem abrasão ou desgaste	Abrasão ou desgaste expôs o agregado grosso, mas o agregado permanece seguro no concreto	O agregado grosso está solto ou saiu da matriz de concreto devido à abrasão ou desgaste	
Rebaixamento (4000)	Nenhum	Existe dentro de limites toleráveis ou parado sem nenhum dano estrutural observado.	Excede os limites toleráveis, mas não se faz necessária a revisão estrutural	
Erosão (6000)	Nenhum	Existe dentro de limites toleráveis ou foi detido com contramedidas eficazes	Excede os limites toleráveis, mas é inferior aos limites críticos determinados pela avaliação de desgaste e não se faz necessária a revisão estrutural	

Dano (7000)	Não se aplica	O elemento possui dano de impacto. O dano específico causado pelo impacto foi capturado em CS 2 sob a entrada apropriada de defeito de material	O elemento possui dano de impacto. O dano específico causado pelo impacto foi capturado em CS 3 sob a entrada de defeito de material apropriada	O elemento possui dano de impacto. O dano específico causado pelo impacto foi capturado em CS 4 sob a entrada apropriada de defeito de material
-------------	---------------	---	---	---

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – FOTOGRAFIAS DA INSPEÇÃO

Pilares:

- Pilar 01

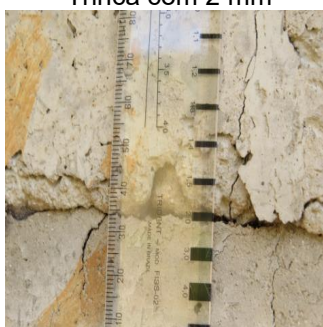
Manchas



Segregação do concreto



Trinca com 2 mm



Fissura com 0,2 mm



Pilar 02:

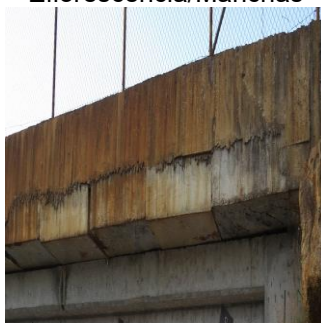
Junta de dilatação fria

Desagregação do concreto



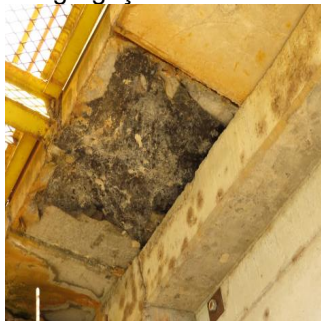
- Laje em balanço 1

Eflorescência/Manchas



- Laje em balanço 2

Segregação do concreto



Armadura exposta



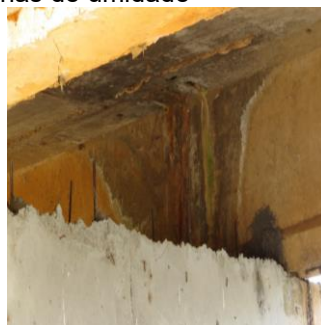
- Vigas transversinas

Armadura exposta/Eflorescência



- Viga longarina 1

Eflorescência/Manchas de umidade



- Viga longarina 2

Armadura exposta



- Barreiras tipo New Jersey

Manchas/umidade



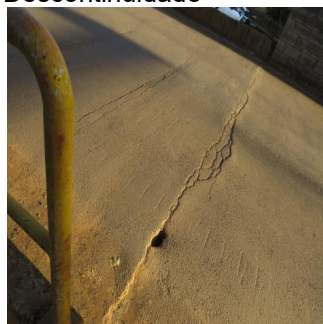
Desagregação do concreto





- Pista de rolamento

Desgaste superficial/Descontinuidade





## APÊNDICE B – APRESENTAÇÃO DOS DEFEITOS CONFORME METODOLOGIA MBEI/AASHTO (2019)

# **Defeito 1** - O defeito 1080 diz respeito à desagregação do concreto e pode ser visto nas Fotografias 1, 2, 3, para cada um dos elementos.

- Elemento: Pilar 1

**Fotografia 1: a) e b) – Defeito 1080 no pilar 1**



Fonte: Autoria própria (2023)

- Elemento: Pilar 2

**Fotografia 2: a) e b) – Defeito 1080 no pilar 2**



Fonte: Autoria própria (2023)

- Elemento: Pilar 3

**Fotografia 3 – Defeito 1080 no pilar 3**



Fonte: Autoria própria (2023)

- Elemento: Barreira rígida

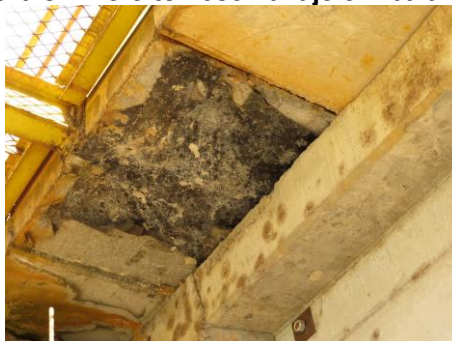
**Fotografia 4: a) e b) – Defeito 1080 nas barreiras rígidas**



Fonte: Autoria própria (2023)

- Elemento Laje em balanço 2

**Figura 5 – Defeito 1080 na laje em balanço 2**



Fonte: Autoria própria (2023)

- Elemento: Laje em balanço 1

**Figura 6 – Defeito 1080 na laje em balanço 1**



Fonte: Aatoria própria (2023)

**# Defeito 2** - O defeito 1090 diz respeito à armadura exposta e pode ser visto nas Figuras abaixo, para cada um dos elementos.

- Elemento: Viga longitudinal 2

**Fotografia 7: a) e b) – Defeito 1090 nas barreiras rígidas**



a)

b)

Fonte: Aatoria própria (2023)

- Elemento: Vigas transversinas

**Fotografia 8 – Defeito 1090 nas vigas transversinas**



Fonte: Aatoria própria (2023)

- Elemento: Laje em balanço 2

**Fotografia 9: a) e b) – Defeito 1080 na laje em balanço 2**



Fonte: A autoria própria (2023)

**# Defeito 3** - O defeito 1120 é referente à eflorescência/manchas de ferrugem e pode ser analisado nas Figuras abaixo para cada um dos elementos em que este foi detectado.

- Elemento: Pilar 1

**Fotografia 10 – Defeito 1120 no pilar 1**



Fonte: A autoria própria (2023)

- Elemento: Viga longarina 1

**Fotografia 11: a) e b) – Defeito 1120 na viga longarina 1**



Fonte: Autoria própria (2023)

- Elemento: Vigas transversinas

**Fotografia 12 – Defeito 1120 nas vigas transversinas**



Fonte: Autoria própria (2023)

- Elemento: Barreira rígida

**Fotografia 13 - Defeito 1120 nas barreiras rígidas**



Fonte: Autoria própria (2023)

**# Defeito 4** - O defeito 1130 é referente às fissuras, o qual pode ser observado nas Figuras abaixo, para cada um dos elementos em que foi diagnosticado.

- Elemento: Pilares 1, 2, 3 e 4

**Fotografia 14: a), b) c) e d) – Defeito 1130 nos pilares 1, 2, 3 e 4**



a)

b)



c)

d)

Fonte: Autoria própria (2023)

**# Defeito 5** - O defeito 1190 diz respeito à abrasão/desgaste e pode ser visto na Figura abaixo para o elemento: Pista de rolamento.

**Fotografia 15: a) e b) – Defeito 1190 na pista de rolamento**



a)

b)

Fonte: Autoria própria (2023)

**# Defeito 6** - O defeito 1000 diz respeito à corrosão e pode ser visto na Figura abaixo para o elemento: Guarda-corpo

**Fotografia 16: a) e b) – Defeito 1000 no guarda-corpo**



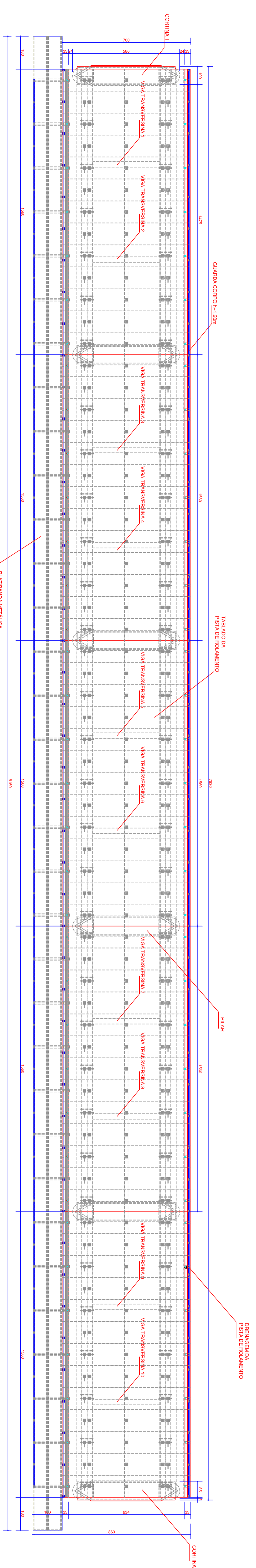
a)

b)

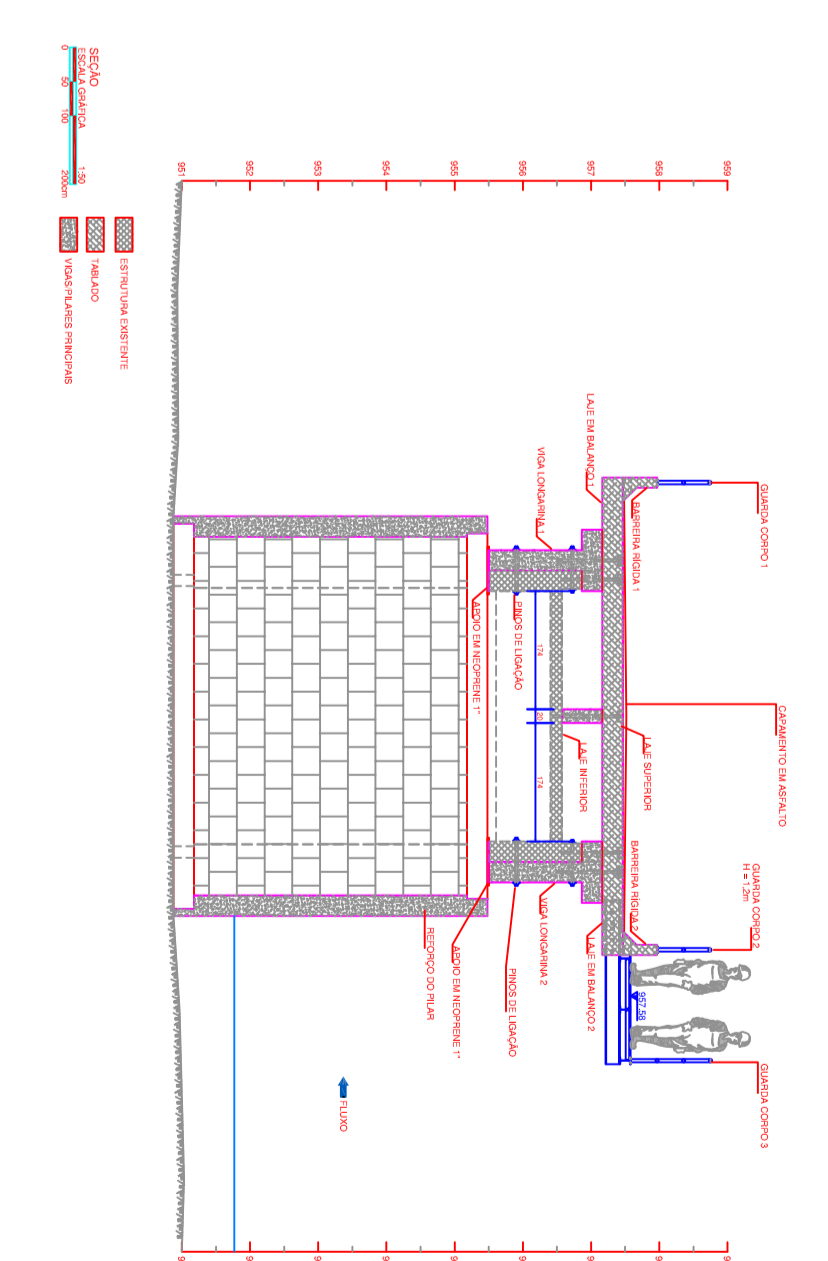
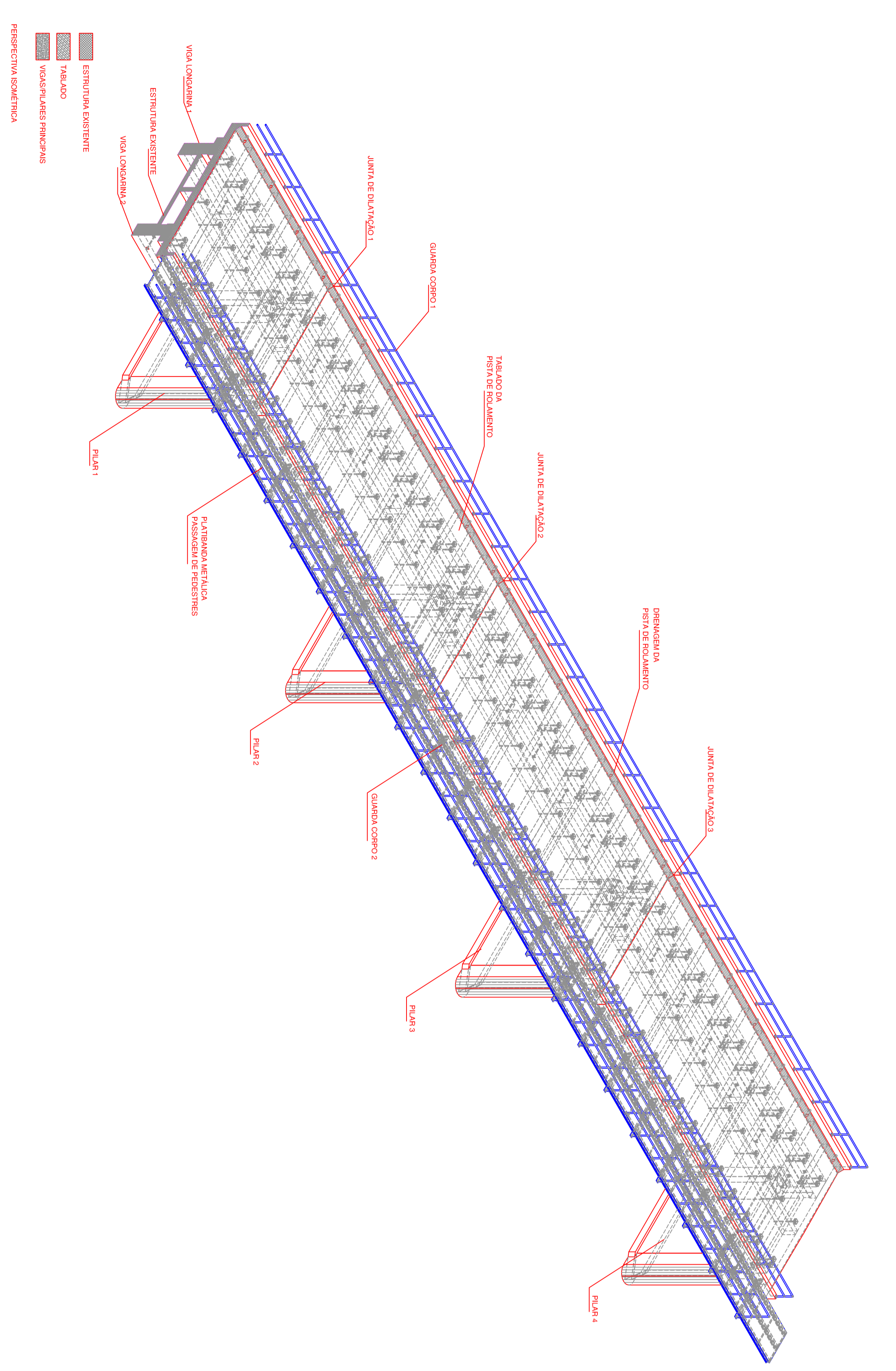
Fonte: Autoria própria (2023)

### **APÊNDICE C – CROQUIS DA OAE EM ESTUDO**

Os projetos que serviram como base para a elaboração dos croquis foram disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Guarapuava. Para este estudo em particular, foram feitas apenas algumas modificações nos projetos originais.



PLANTA  
 ESCALA 1:100  
 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000



RESPONSÁVEL TÉCNICO ALBERTO DE ANDRADE PINTO  
 AUTOR DO PROJETO ALBERTO DE ANDRADE PINTO  
 RESPONSÁVEL CLEVERSON  
 CONTROLADOR RESPONSÁVEL GEOMÉTRICA, PLANTE E SEÇÃO CLEVERSON  
 PROJETO PROJETO EX. CCH PARQUE PAV 23/06/2016

01/01