

**AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS DA CIDADE DE BRASÍLIA  
(LOTE 04) PELA METODOLOGIA DO GRAU DE DETERIORAÇÃO  
ESTRUTURAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**ALONSO BARBOSA DO NASCIMENTO FILHO**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

BRASÍLIA / DF: OUTUBRO - 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS DA CIDADE DE  
BRASÍLIA (LOTE 04) PELA METODOLOGIA DO GRAU DE  
DETERIORAÇÃO ESTRUTURAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**ALONSO BARBOSA DO NASCIMENTO FILHO**

ORIENTADOR: MARCOS HONORATO DE OLIVEIRA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

BRASÍLIA / DF: OUTUBRO-2021  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS DA CIDADE DE BRASÍLIA  
(LOTE 04) PELA METODOLOGIA DO GRAU DE DETERIORAÇÃO  
ESTRUTURAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**ALONSO BARBOSA DO NASCIMENTO FILHO**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Marcos Honorato de Oliveira, D.Sc (UnB)**  
(Orientador)

---

**Prof. Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira, D.Sc (UnB)**  
(Examinador interno)

---

**Prof. Nataniel Wontoon Barbosa Lima, M.Sc (UnB)**  
(Examinador externo)

BRASÍLIA/DF, 25 DE OUTUBRO DE 2021

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

NASCIMENTO FILHO, ALONSO BARBOSA DO

Avaliação de Obras de Arte Especiais de Brasília (Lote 04) pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília [Distrito Federal] 2021.

xvi, 107 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2021)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Obras de Arte Especiais                      2. Concreto                      3. Patologia das Estruturas

4. Grau de Deterioração Estrutural    5. Manutenção

I. ENC/FT/UnB

II. Título (bacharel)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

NASCIMENTO FILHO, A.B. (2021). Avaliação de Obras de Arte Especiais de Brasília (Lote 04) pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 107 p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Alonso Barbosa do Nascimento Filho

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação de Obras de Arte Especiais de Brasília (Lote 04) pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Alonso Barbosa do Nascimento Filho

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos meus ancestrais pela luta desbravada, pela resistência e por todos os caminhos conquistados.

À minha mãe, Sônia, meu primeiro lar, por lutar sempre por seus filhos. Por todo apoio incondicional, por me conhecer como ninguém e me proteger com toda a sua força divina.

Ao meu pai, Alonso, minha fortaleza, o herói da minha vida. Diante dos maiores obstáculos, a renovação! É o exemplo maior, a inspiração e a potência que me guiam e me elevam.

À minha irmã, Amanda, a minha eterna parceira. É o significado verdadeiro do companheirismo e da fidelidade. Aquela que me alegra e me instiga à vitória.

Aos amigos passados, aos presentes e aos futuros. Meus companheiros da turma 103, pelo início e o fim da jornada. O furor da juventude, a união do time, companhias de curso, de histórias, de vida.

À Ordem DeMolay e a toda família maçônica pelos irmãos valorosos, a incessante busca pelo aperfeiçoamento moral e a defesa das liberdades civil, religiosa, política e intelectual.

À Universidade de Brasília, lugar de descobertas marcantes. A todo o corpo docente, em especial ao meu orientador Marcos Honorato, pela nobreza de ensinar! Símbolos da grandeza da educação pública de nosso país.

Ao Grande Arquiteto do universo, ao acaso e ao destino.

## RESUMO

As Obras de Arte Especiais (OAEs) são estruturas que têm a função de ligar pontos separados por obstáculos naturais ou artificiais. Essas construções estão submetidas às ações externas provenientes de cargas móveis de veículos, forças devido ao vento, ação das águas de rios que incidem nas mesoestruturas e infraestruturas, variações de temperatura, retração e fluência no caso do concreto. O acompanhamento da degradação das Obras de Arte Especiais de Brasília é ação fundamental para a preservação do patrimônio histórico revelado pela cidade. A exposição direta aos agentes ambientais e o regime dinâmico de solicitação estrutural aceleram a evolução das manifestações patológicas enfrentadas por essas estruturas. O presente trabalho é componente de um estudo direcionado à avaliação de Obras de Arte Especiais de Brasília-DF por meio da metodologia Grau de Deterioração de Estruturas desenvolvida pela Universidade de Brasília (GDE/UnB). O lote de identificação 04, contendo 30 viadutos, constituiu a amostra de avaliação presente neste estudo. A metodologia do trabalho baseou-se na realização de inspeções visuais realizadas em campo, conforme alterações propostas à inspeção e avaliação de viadutos e pontes desenvolvidas mais recentemente por Verly (2015). As Obras de Arte Especiais (OAEs) avaliadas resultaram em um panorama com 9 estruturas de nível baixo de deterioração, 15 apresentaram nível médio, 4 exprimiram nível alto, 1 em nível sofrível e 1 em crítico. Frente aos resultados, os valores de deterioração estrutural obtidos pela metodologia GDE/UnB foram compatíveis ao estado de conservação das Obras de Arte Especiais avaliadas nas diferentes regiões do Distrito Federal. Com o objetivo de compor um sistema de gestão das OAEs do DF, a metodologia GDE/UnB proposta às avaliações mostrou-se coerente aos objetivos almejados para a implantação de uma ferramenta facilitadora a programas de manutenção de edificações notáveis ao interesse público.

**Palavras-chave:** Obras de Arte Especiais, Concreto, Inspeção, Manutenção, Grau de Deterioração, Manifestações Patológicas.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. MOTIVAÇÃO .....	2
1.2. JUSTIFICATIVA.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. Objetivos gerais .....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>6</b>
2.1. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OAES .....	6
2.1.1. MANCHAS .....	7
2.1.2. FALHAS DE CONCRETAGEM.....	7
2.1.3. DESAGREGAÇÃO .....	8
2.1.4. FISSURAS .....	9
2.1.5. EFLORESCÊNCIA.....	9
2.1.6. CORROSÃO DAS ARMADURAS.....	10
2.1.7. ABRASÃO DO CONCRETO.....	11
2.1.8. DESPLACAMENTO .....	12
2.2. PESQUISAS EM DESTAQUE PARA O TEMA.....	13
2.2.1. KLEIN <i>et. al</i> (1991) .....	13
2.2.2. CASTRO (1994).....	16
2.2.3. VERLY (2015) .....	23
2.2.4. LAURIA (2018) .....	28
2.2.5. PAVONI (2019) .....	31

2.3. PESQUISAS RELACIONADAS AO TEMA .....	35
2.3.1. ANDRADE (1997).....	35
2.3.2. LOPES (1998) .....	36
2.3.3. BOLDO (2002).....	38
2.3.4. FONSECA (2007) .....	41
2.3.5. EUQUERES (2011).....	46
2.3.6. SANTIAGO & AZEVEDO (2012) .....	48
2.3.7. ROSA (2014).....	49
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>51</b>
3.1. ABORDAGEM DA METODOLOGIA GDE/UNB .....	51
3.2. VIADUTOS SELECIONADOS PARA INSPEÇÃO.....	53
3.3. PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO.....	56
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>57</b>
4.1. VIADUTO 2 SETOR BOA VISTA- 035_781_74_63_V.....	59
4.2. VIADUTO CAMPUS UNB GAMA - 083_802_66_99_V .....	63
4.3. VIADUTO ACESSO AO GUARÁ SENTIDO ZOOLOGICO – 064_795_85_47_V .....	69
4.4. ANÁLISE DE DADOS.....	77
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>82</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>
<b>7. ANEXO .....</b>	<b>88</b>
7.1. FICHAS DE INSPEÇÃO.....	88
7.2. Viaduto 2 Setor Boa Vista - 035_781_74_63_V .....	91
7.3. Viaduto Campus UNB Gama - 083_802_66_99_V.....	95
7.4. Viaduto 1 acesso Guar´a – sentido Zool´ogico 064_795_85_47_P.....	99



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
Tabela 2-1 Classificação do grau de risco da estrutura (KLEIN et. al, 1991) .....	15
Tabela 2-2 Famílias, danos e fatores de ponderação (CASTRO, 1994) .....	18
Tabela 2-3 Exemplo de classificação de danos nos fatores de intensidade (CASTRO, 1994)	19
Tabela 2-4 Classificação de Níveis de Deterioração do Elemento (CASTRO, 1994).....	21
Tabela 2-5 Classificação de níveis de deterioração da estrutura (CASTRO, 1994) .....	23
Tabela 2-6 Fatores de intensidade por danos – Parte 1 (VERLY, 2015).....	24
Tabela 2-7 Fatores de intensidade por danos - Parte 2 (VERLY, 2015).....	25
Tabela 2-8 Resultados das metodologias SGO/DNIT e GDE/UnB (VERLY, 2015).....	26
Tabela 2-9 Resultados das metodologias SGO/DNIT E GDE/UnB com formulação modificada do <i>Gd</i> (VERLY, 2015).....	27
Tabela 2-10 Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB – Eixo Rodoviário Sul (LAURIA, 2018).....	30
Tabela 2-11 Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB – Eixo Rodoviário Norte (PAVONI, 2019).....	32
Tabela 2-12 Comparativo dos resultados obtidos entre SANTIAGO & AZEVEDO (2012) e PAVONI (2019).....	33
Tabela 2-13 Resultados obtidos (ANDRADE, 1997).....	35
Tabela 2-14 Proposição de Fatores de Ponderação de danos (LOPES, 1998).....	36
Tabela 2-15 Resultados apresentados para os edifícios inspecionados (LOPES, 1998).....	38
Tabela 2-16 Classificação dos níveis de deterioração de elemento (BOLDO, 2002).....	40
Tabela 2-17 Classificação dos níveis de deterioração da estrutura (BOLDO, 2002) .....	40
Tabela 2-18 Prazo máximo para intervenção (BOLDO, 2002) .....	41
Tabela 2-19 Reformulação de fatores de intensidade relacionados à corrosão (FONSECA, 2007).....	41
Tabela 2-20 Tipologia de fissuras de concreto armado - Estado Plástico (FONSECA, 2007)	42

Tabela 2-21 Tipologia de fissuras de concreto armado - Estado Endurecido (FONSECA, 2007).....	43
Tabela 2-22 Tipologia de fissuras de concreto armado – Erros de projeto/execução ou cargas excessivas (FONSECA, 2007) .....	44
Tabela 2-23 Classificação de níveis de deterioração de elemento e estrutura reformulados (FONSECA, 2007).....	45
Tabela 2-24 Resultados da metodologia GDE/UnB após alterações (FONSECA, 2007) .....	46
Tabela 2-25: Classificação de níveis de deterioração adaptado para pontes (EUQUERES, 2011).....	47
Tabela 2-26: Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB – Eixo Rodoviário Norte (SANTIAGO & AZEVEDO, 2012).....	49
Tabela 2-27: Resultados das metodologias SGO/DNIT E GDE/UnB (ROSA, 2014).....	50
Tabela 3-1 Resumo equações Metodologia GDE/UnB.....	52
Tabela 4-1 Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB em viadutos do Lote 04– Brasília, DF .....	57
Tabela 4-2 Grau de deterioração do Guarda Rodas Oeste viaduto 2 Setor Boa Vista.....	60
Tabela 4-3 Grau de deterioração das Longarinas viaduto 2 Setor Boa Vista .....	61
Tabela 4-4 Grau de deterioração da viga Travessa S Viaduto 2 Setor Boa Vista.....	61
Tabela 4-5 Resultados obtidos para o Viaduto 2 Setor Boa Vista .....	62
Tabela 4-6 Grau de deterioração da Cortina Sul -Viaduto UnB Campus Gama.....	67
Tabela 4-7 Grau de deterioração do Pilar Norte - Viaduto UnB Campus Gama.....	68
Tabela 4-8 Grau de deterioração do Pilar Norte - Viaduto UnB Campus Gama.....	68
Tabela 4-9 Resultados obtidos para o Viaduto UnB Campus Gama .....	69
Tabela 4-10 Grau de deterioração da Cortina Sul Viaduto Acesso Guará.....	71
Tabela 4-11 Grau de deterioração do Pilar 5 Viaduto Acesso Guará .....	72
Tabela 4-12 Grau de deterioração do tabuleiro Centro-Norte 1 (antigo) Viaduto Acesso Guará .....	72
Tabela 4-13 Resultados para o Viaduto 1 Acesso Guará-Zoológico .....	73
Tabela 4-14 Frequência de danos – 30 OAEs Lote 04.....	78
Tabela 4-15 Frequência de danos 10 OAEs de maior Gd .....	79
Tabela 4-16 Frequência de danos por elemento estrutural.....	80
Tabela 4-17 Frequência relativa de danos por elemento estrutural.....	80
Tabela 4-18 Nível de deterioração por elemento estrutural .....	81

Tabela 4-19 Nível percentual de deterioração por elemento estrutural .....	81
Tabela 7-1 Ficha de Inspeção – Cortina e Contenção.....	88
Tabela 7-2 Ficha de Inspeção - Guarda-rodas.....	88
Tabela 7-3 Ficha de Inspeção – Pilar e Pilar-Parede.....	89
Tabela 7-4 Ficha de Inspeção – Tabuleiro .....	89
Tabela 7-5 Ficha de Inspeção – Transversina .....	90
Tabela 7-6 Ficha de Inspeção – Longarinas e Travessas .....	90
Tabela 7-7 Grau de deterioração do Guarda-rodas Oeste .....	91
Tabela 7-8 Grau de deterioração do Guarda-rodas Leste.....	91
Tabela 7-9 Grau de deterioração Longarinas .....	92
Tabela 7-10 Grau de deterioração da viga Travessa Norte .....	92
Tabela 7-11 Grau de deterioração da viga Travessa Sul .....	93
Tabela 7-12 Grau de deterioração do Tabuleiro.....	93
Tabela 7-13 Grau de deterioração do Pilar 1.....	94
Tabela 7-14 Grau de deterioração do Pilar 2.....	94
Tabela 7-15 Grau de deterioração da Cortina Norte .....	95
Tabela 7-16 Grau de deterioração da Cortina Sul .....	95
Tabela 7-17 Grau de deterioração do Guarda Rodas Oeste .....	96
Tabela 7-18 Grau de deterioração do Guarda Rodas Leste.....	96
Tabela 7-19 Grau de deterioração do Pilar Norte .....	97
Tabela 7-20 Grau de deterioração do Pilar Sul .....	97
Tabela 7-21 Grau de deterioração do Tabuleiro Norte .....	98
Tabela 7-22 Grau de deterioração do Tabuleiro Central.....	98
Tabela 7-23 Grau de deterioração do Tabuleiro Sul .....	98
Tabela 7-24 Grau de deterioração da Cortina Sul .....	99
Tabela 7-25 Grau de deterioração da Cortina Norte .....	99
Tabela 7-26 Grau de deterioração do Pilar 1.....	100
Tabela 7-27 Grau de deterioração do Pilar 2.....	100
Tabela 7-28 Grau de deterioração do Pilar 3.....	101
Tabela 7-29 Grau de deterioração do Pilar 4.....	101
Tabela 7-30 Grau de deterioração do Pilar 5.....	102
Tabela 7-31 Grau de deterioração do Pilar 6.....	102
Tabela 7-32 Grau de deterioração do Tabuleiro Norte 1 .....	103

Tabela 7-33 Grau de deterioração do Tabuleiro Norte 2 .....	103
Tabela 7-34 Grau de deterioração do Tabuleiro Centro-Norte 1 .....	104
Tabela 7-35 Grau de deterioração do Tabuleiro Centro-Norte 2 .....	104
Tabela 7-36 Grau de deterioração do Tabuleiro Centro-Sul 1 .....	105
Tabela 7-37 Grau de deterioração do Tabuleiro Centro-Sul 2 .....	105
Tabela 7-38 Grau de deterioração do Tabuleiro Sul 1 .....	106
Tabela 7-39 Grau de deterioração do Tabuleiro Sul 2 .....	106
Tabela 7-40 Grau de deterioração do Guarda-Rodas Oeste .....	107
Tabela 7-41 Grau de deterioração do Guarda-Rodas Leste .....	107

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 2-1 Exemplo de manchas na superfície do concreto – Viaduto sobre DF-003 Eixo Monumental/Taguatinga .....	7
Figura 2-2 Exemplo de falha de concretagem - Viaduto sob o Eixo Monumental próxima à catedral militar 1.....	8
Figura 2-3 Exemplo de desagregação - Viaduto sobre a DF-085 entrada Guará.....	8
Figura 2-4 Exemplo de fissura - Viaduto 2 sobre a DF-085 entrada Guará.....	9
Figura 2-5 Exemplo de eflorescência - Viaduto 1 acesso ao Guará/EPNB. ....	10
Figura 2-6 Processo de corrosão em pilar – Viaduto 1 entrada SMU/DF.....	11
Figura 2-7 Exemplo de abrasão do concreto com exposição de armaduras - Viaduto SPMS sobre a DF-003 .....	12
Figura 2-8 Exemplo de deslocamento do concreto - Viaduto sob o Eixo Monumental próximo à catedral militar 2 .....	12
Figura 2-9 Fluxograma da metodologia GDE/UnB (CASTRO, 1994).....	16
Figura 2-10 : Formulação do Grau de dano (CASTRO, 1994).....	20
Figura 2-11 Elementos dos viadutos dos Eixos L e W (LAURIA, 2018).....	29
Figura 2-12 Elementos dos viadutos do Eixão (LAURIA, 2018) .....	30
Figura 3-1 Divisão Distrito Federal Malha 10 x 10 .....	54
Figura 3-2 Mapa do Distrito Federal com todas as divisões das OAEs .....	55
Figura 3-3 Distribuição de pontos na ferramenta Google My Maps.....	55
Figura 4-1 Gráfico com resultado das avaliações por nível – Lote 04.....	58
Figura 4-2 Fotografia Viaduto 2 Setor Boa Vista .....	59
Figura 4-3 Detalhe de elementos do Viaduto 2 Setor Boa Vista .....	60
Figura 4-4 Vigas longarinas do viaduto 2 Setor Boa Vista.....	62
Figura 4-5 Longarinas e viga travessa Sul do viaduto 2 Setor Boa Vista.....	63
Figura 4-6 Viaduto Campus Gama UnB – .....	64
Figura 4-7 Detalhe Cortina Sul – Viaduto UnB Campus Gama .....	65
Figura 4-8 Fissuração Cortina Sul – Viaduto UnB Campus Gama.....	65

Figura 4-9 Fissuração Tabuleiro Norte – Viaduto UnB Campus Gama .....	66
Figura 4-10 Fissuração encontro Tabuleiros Central e Norte com o Pilar Sul – Viaduto UnB Campus Gama .....	66
Figura 4-11 Encontro Pilar Norte e Tabuleiro Central– Viaduto UnB Campus Gama.....	67
Figura 4-12 Foto panorâmica Viaduto 1 acesso Guar´a - Sentido Zool´gico .....	70
Figura 4-13 Elementos do Viaduto 1 Acesso Guar´a – Sentido Zool´gico (Retirado do Google Maps).....	71
Figura 4-14 Tabuleiro Centro-Sul 2 Viaduto 1 acesso Guar´a – Sent. Zool´gico .....	74
Figura 4-15 Tabuleiro Norte 1 Viaduto 1 acesso Guar´a – Sent. Zool´gico.....	74
Figura 4-16 Detalhe exposição de armadura tabuleiro Norte 1 Viaduto 1 acesso Guar´a – Sent. Zool´gico .....	75
Figura 4-17 Tabuleiro Centro-sul 1 Viaduto 1 acesso Guar´a – Sent. Zool´gico .....	75
Figura 4-18 Pilar 5 com armadura exposta Viaduto 1 acesso Guar´a – Sent. Zool´gico.....	76
Figura 4-19 Cortina Sul com elevada fissuração Viaduto 1 acesso Guar´a – Sent. Zool´gico.	76
Figura 4-20 Guarda-rodas Oeste com exposição de armaduras Viaduto 1 acesso Guar´a – Sent. Zool´gico .....	77
Figura 4-21 Frequncia de danos – OAEs Lote 04 .....	78

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$FI$	Fator de intensidade do dano;
$FR$	Fator de relevância estrutural;
$FG$	Fator de gravidade do problema;
$GRE$	Grau de risco do elemento;
$GRF$	Grau de risco da família de elementos;
$n$	Número de elementos componente da família;
$\delta$	Coefficiente de majoração;
$LIM$	Valor do Grau de Risco do Elemento acima do qual um elemento está comprometido;
$m$	Número de elementos da família com $GRE > LIM$ ;
$GR$	Grau de risco da estrutura;
$k$	Número de famílias de elementos da obra;
$F_p$	Fator de ponderação;
$F_i$	Fator de intensidade do dano;
$D$	Grau do dano;
$G_{de}$	Grau de deterioração do elemento;
$m$	Número de danos detectados no elemento;
$D_i$	Grau do dano de ordem $i$ ;
$G_{df}$	Grau de deterioração da família de elementos;
$n$	Número de elementos componentes da família com $G_{de} \geq 15$ ;
$F_r$	Fator de relevância estrutural;
$G_d$	Grau de deterioração estrutural;
$D_{máx}$	Maior grau de dano;
$G_{demáx}$	Maior grau de deterioração do elemento;
$G_d^*$	Grau de deterioração da estrutura, considerando todos os valores de $G_{de}$

$G_{df,i}$	Grau de deterioração da família de elementos de ordem $i$ ;
$K$	Produto do $G_{df,i}$ pelo respectivo $F_r$ ;
$K_{máx}$	Maior $K$ ;
$G_{d,mod}$	Grau de deterioração da estrutura modificado;
$G_{d,mod}^*$	Grau de deterioração da estrutura modificado, considerando todos os valores de $G_{de}$ .



# 1. INTRODUÇÃO

As Obras de Arte Especiais (OAEs) são estruturas que têm a função de ligar pontos separados por obstáculos naturais ou artificiais. Essas construções estão submetidas às ações externas provenientes de cargas móveis de veículos, forças devido ao vento, ação das águas de rios que incidem nas mesoestruturas e infraestruturas, variações de temperatura, retração e fluência no caso do concreto. As OAEs são compostas pelas pontes (quando construídas sobre cursos d'água) e viadutos (quando construídas sobre avenidas ou vales secos), estruturas que são umas das expressões mais emblemáticas no campo da Engenharia Civil.

Até o século XIX, os materiais mais utilizados na construção dessas estruturas foram blocos de rochas, madeira e um aglomerado, precursor do concreto, preparado com um tipo primitivo de cimento produzido com cal e pozolanas vulcânicas. Após a Revolução Industrial, a produção de ligas de aço mais resistentes e dúteis que os materiais de então, garantiu o desenvolvimento de novas estruturas com vãos maiores e menor peso próprio. Com o advento do concreto de cimento Portland, no fim do século XIX, ocorreu o desenvolvimento e o registro das primeiras patentes de sistemas construtivos com concreto armado. Criou-se uma nova alternativa para a execução de OAEs com menor custo e grande variedade de formas e esquemas estruturais (FIB, 2000).

Independentemente da maneira como forem construídas as OAEs e do material utilizado, as estruturas sofrem degradação. São afetadas pelo envelhecimento, fadiga, corrosão, manutenção aplicada de maneira errada ou a não aplicação da mesma e pelo incremento de cargas, entre outros fatores. Sendo fundamental realizar inspeções dos elementos das pontes e viadutos, expondo o comportamento ao longo do tempo, e assim obter uma previsão das futuras intervenções (MOSCOSO, 2017).

Brasília, a capital do Brasil inaugurada em 1960, evidenciou aspectos preocupantes nos últimos anos em função das auditorias realizadas por órgãos de fiscalização, como a realizada pelo Tribunal de Contas do Distrito Federal – TCDF em 2012. A auditoria apontou 7 viadutos cuja manutenção deveria ser realizada em caráter de urgência. Em corroboração a isso, houve o desabamento de parte do viaduto sobre a Galeria dos Estados no Eixo Rodoviário na sua região central em 2018.

Segundo o normativo técnico que fornece diretrizes para as estruturas em concreto, devem ser atendidos os requisitos de qualidade, classificados em capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade (ABNT NBR 6118:2014). A capacidade resistente está relacionada à segurança à ruptura da estrutura. A capacidade da estrutura atender as condições de utilização durante sua vida útil evidencia o desempenho em serviço. Enquanto a durabilidade está relacionada ao grau de exposição da estrutura à fatores ambientais ao longo do tempo e à boa conduta de utilização dos usuários.

É fundamental observar que a maioria dos processos de deterioração desenvolve-se gradualmente e tem manifestações visíveis ou detectáveis por ensaios específicos. Dessa forma, pode-se identificar, diagnosticar e solucionar os problemas antes que atinjam proporções graves ou que resultem em custos financeiros e sociais elevados de recuperação. Por essa ótica, o acompanhamento periódico do estado das OAEs, por meio de vistorias e inspeções detalhadas, executadas conforme um conjunto de procedimentos padronizados e tecnicamente adequados, é o modo mais eficaz de subsidiar uma política de manutenção corretiva e preventiva de OAEs (MITRE, 2005).

A metodologia do Grau de Deterioração Estrutural (GDE/UnB) trata-se de um método que faz uso de equações para análise do grau de deterioração estrutural, além de permitir a avaliação, separadamente, de cada elemento da estrutura. Essa metodologia pode ser utilizada como uma ferramenta de apoio à decisão dos gestores, permitindo identificar as principais manifestações patológicas que afetam as estruturas e, se necessário, promover um plano de manutenção, a fim de que possam atender os requisitos mínimos de capacidade de carga, segurança, conforto e assim ampliar seu período de preservação e serviço.

## **1.1. MOTIVAÇÃO**

Desde a sua inauguração em 1960, Brasília, com sua reconhecida qualidade de vida, é a realização dos sonhos de seus criadores e fonte de inspiração da vanguarda da arquitetura e engenharia modernas. A cidade é patrimônio cultural da humanidade, título outorgado pela Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (Unesco), desde 1987. O tombamento de Brasília possui caráter inédito, uma vez que somente cidades seculares haviam sido tombadas. Para a Engenharia Estrutural, as obras de Brasília significaram novidade, audácia, arrojo e evidenciam resultados surpreendentes. Como destaca o professor

Augusto Vasconcelos: “As estruturas lá estão e podem ser observadas em seu desempenho, seus defeitos e suas anormalidades” (1992).

A preservação do patrimônio nacional é matéria definida e estabelecida na constituição brasileira. Para isso, é importantíssima a educação patrimonial, de modo a estabelecer conceitos e princípios para a conservação do conhecimento, compondo, assim, a memória dos monumentos. Em muitos países desenvolvidos, com a valorização adequada do patrimônio histórico, existem inúmeras publicações sobre as técnicas de engenharia envolvidas na criação e execução de seus monumentos, o que possibilita a avaliação continuada de sua situação física, subsidiando programas de manutenção periódica e conservação (MOREIRA, 2007).

No início do ano de 2018, ocorreu o desabamento de parte de um dos viadutos do Eixo Rodoviário Central de Brasília. A necessidade de desvios no trânsito de uma das principais vias da cidade expôs prejuízo significativo ao erário e ao sistema de transporte dessa região. Felizmente, o episódio não foi marcado por perdas humanas, ainda que a estrutura fosse utilizada copiosamente pelos brasilienses.

A Universidade de Brasília trabalhou com o caso e concluiu que o acidente foi ocasionado por uma falta de manutenção no referido viaduto; com a submissão aos agentes deletérios do ambiente – principalmente infiltração de água – as armaduras foram sendo corroídas através de fissuras presentes na estrutura levando à degradação crítica e ao consequente desabamento do dia 6 de fevereiro de 2018 (UNB, 2018).

Diante da importância das OAEs do Distrito Federal, foram promovidas inspeções e avaliações das pontes e viadutos presentes nessa região. O presente trabalho propõe a realização dessas ações, em conjunto a um grupo de 5 alunos da Universidade de Brasília, assim como as desenvolvidas por Lauria (2018) e Pavoni (2019), os quais avaliaram os viadutos do Eixo Rodoviário Sul e Norte, respectivamente. A proposta de avaliação dos viadutos tem base na metodologia proposta por Castro (1994), atualizada por diferentes pesquisadores da Universidade de Brasília nos últimos anos.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

O acompanhamento da degradação das Obras de Arte Especiais de Brasília é ação fundamental para a preservação do patrimônio histórico revelado pela cidade. A exposição direta aos agentes ambientais e o regime dinâmico de solicitação estrutural aceleram a evolução das manifestações patológicas enfrentadas por essas estruturas. Este trabalho expõe a necessidade da criação e da manutenção de um sistema de gerenciamento de OAEs do Distrito Federal, por meio do levantamento das condições estruturais e a avaliação de 30 viadutos dispostos por toda a região de Brasília – Distrito Federal utilizando a metodologia do Grau de Deterioração Estrutural - GDE/UnB.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivos gerais**

Aplicação da metodologia GDE/UnB em um lote de Obras de Arte Especiais de Brasília (OAEs) e análise dos resultados, a fim de se verificar o grau de deterioração estrutural de cada OAE e construir um banco de dados para o Sistema de Gestão de Obras de Artes Especiais do Distrito Federal – SiGOA-DF.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar a inspeção de viadutos e pontes aplicando a metodologia GDE/UnB no Distrito Federal compreendido ao Lote 04 composto por 32 viadutos;
- Analisar os resultados de cada OAE e determinar o seu grau de deterioração;
- Apresentar uma avaliação sistemática das OAEs que obtiveram: a melhor avaliação para o GDE, a que obteve avaliação média e a que apresentou o GDE máximo, especificando os seus elementos, famílias de elementos, o fator de intensidade dos danos e a avaliação global da estrutura;
- Fornecer os dados obtidos nas inspeções de todas as OAEs para compor o banco de dados do sistema Sistema de Gestão de Obras de Arte Especiais do Distrito Federal, SiGOA-DF.

## **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O trabalho está dividido em 5 capítulos.

O Capítulo 1 tem a importância de introduzir o leitor para ao tema que será abordada ao longo do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta a descrição das manifestações patológicas comumente encontradas nas OAEs, por meio daquelas expostas pelos viadutos analisados. Discorre acerca dos trabalhos de embasamento e aplicação da metodologia GDE/UnB, apresentando a revisão bibliográfica desta monografia, de maneira a evidenciar os estudos temporalmente, com as aplicações, resultados e modificações propostas até os dias atuais.

O Capítulo 3 evidencia o método utilizado na aplicação da metodologia GDE/UnB nos viadutos de Brasília (Lote 04), tratando sobre as abordagens adotadas, o mecanismo de divisão das OAEs entre o grupo de alunos de trabalho, a forma de nomenclatura usada e o procedimento de inspeção em campo.

Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com a aplicação completa da metodologia GDE/UnB nos viadutos selecionados para análise nesta primeira etapa, além de reportar os principais danos presentes nas OAEs de melhor, média e pior condição estrutural avaliadas.

O Capítulo 5 contempla as conclusões sobre a aplicação da metodologia.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OAEs**

Manifestações patológicas são os sinais visualmente aparentes ou identificáveis com o uso de instrumentos de algum processo de deterioração. A descrição dos principais sintomas, locais e formas de ocorrência, bem como da gravidade e extensão são fundamentais para o diagnóstico, avaliação e prognóstico de uma obra deteriorada. Muitas vezes, somente a observação pericial dos sintomas e pequenos testes de campo são suficientes para que um especialista realize uma análise crítica que conduza ao correto diagnóstico do problema e demais etapas, possibilitando uma conduta corretiva ou preventiva eficaz (MITRE, 2017).

Os agentes causadores dessas manifestações patológicas são os elementos ou fatores internos ou externos à estrutura que desencadeiam o conjunto de processos químicos, físicos ou mecânicos responsáveis pelos sintomas observados. Diagnósticos imprecisos ou equivocados podem levar a intervenções inadequadas, com alto custo e durabilidade insatisfatória, de maneira a manter sua continuidade (propagação e agravamento). Desse modo, é necessário compreender as ações e fenômenos envolvidos juntamente às suas interações com a estrutura e seus materiais componentes. Cabendo ressaltar que a manutenção preventiva da estrutura consiste em meio econômico e eficaz para evitar situações problemáticas futuras no contexto geral da construção civil.

Quando a origem dos agentes causadores é identificada, é possível recomendar intervenções que de fato cessem ou reduzam satisfatoriamente a continuidade do processo de deterioração. As técnicas e materiais empregados serão especificados com o objetivo de interromper o ingresso ou surgimento de mais agentes. Com esse viés, foram elencadas as principais manifestações patológicas necessárias para o estudo das OAEs, com o propósito de promover o melhor entendimento e a identificação em campo dos possíveis agentes causadores dos sintomas expostos nas estruturas junto a imagens registradas durante a inspeção do Lote 04 de viadutos.

### 2.1.1. MANCHAS

Os problemas dentro da construção civil causados por umidade podem estar relacionados a até 60% das manifestações patológicas encontradas em edificações em fase de uso e operação e podem levar a prejuízos de caráter funcional, de desempenho, estéticos e estruturais podendo representar risco à segurança e à saúde dos usuários (SOUZA, 2008).

As manchas são consequência da interação superficial do concreto com a ação de microrganismos, fungos e mofo, gerando um escurecimento da face (VERLY, 2015). Em adição a isso, manchas de ferrugem geradas pela corrosão das armaduras também podem surgir nas superfícies de concreto expostas (LAURIA, 2018). A *Figura 2.1* apresenta exemplificação de manchas na superfície de concreto aparente.



Figura 2-1 Exemplo de manchas na superfície do concreto – Viaduto sobre DF-003 Eixo Monumental/Taguatinga

### 2.1.2. FALHAS DE CONCRETAGEM

Segundo Verly (2015), “as falhas de concretagem são danos que afetam a propriedade final do concreto, tais como sua aparência final, resistência a compressão, módulo de elasticidade e até mesmo a retração”. As causas da segregação do concreto ocorrem em função de algumas situações que precisam ser observadas e podem ser evitadas, tais como: O lançamento de concreto por alturas elevadas; adensamento mecânico ou manual realizados de maneira excessiva; formas sem estanqueidade necessária para evitar o escoamento da nata de cimento

e falhas na compatibilização de projetos de forma e armação junto ao traço de concreto. A *Figura 2.2* exemplifica falhas de concretagem observadas durante a inspeção do Lote 04.



Figura 2-2 Exemplo de falha de concretagem - Viaduto sob o Eixo Monumental próxima à catedral militar 1

### 2.1.3. DESAGREGAÇÃO

Consiste na desintegração do concreto, afetando a sua propriedade aglomerante. Vários são os fatores que podem ser causadores da desagregação: fissuração, movimentação das formas, corrosão do concreto, ataques biológicos e o fenômeno da calcinação que consiste na perda de resistência e desintegração por temperaturas próximas à 600° C. Esse fenômeno promove a diminuição da coesão entre os materiais, gerando perdas de seções da estrutura e, conseqüentemente, impactando na sua resistência e vida útil. A *Figura 2-3* exprime um caso de desagregação.



Figura 2-3 Exemplo de desagregação - Viaduto sobre a DF-085 entrada Guará.



#### **2.1.4. FISSURAS**

As fissuras são manifestações patológicas naturais em estruturas de concreto armado quando surgem pela variabilidade da resistência ao longo das peças e pela baixa resistência aos esforços de tração do material. No entanto, a gravidade dessa manifestação pode variar conforme a origem e a intensidade, por isso devem ser respeitadas as limitações prescritas em norma para a abertura dessas fissuras. Sendo assim, é necessário avaliar o deslocamento dela ao longo do tempo, a sua profundidade e as condições ambientais atuantes (SOUZA e RIPPER, 1998). São manifestações que além do próprio risco que trazem à segurança estrutural, também são meios para percolação de água e de agentes agressivos. Na *Figura 2-4* é possível notar um caso de fissuração.



Figura 2-4 Exemplo de fissura - Viaduto 2 sobre a DF-085 entrada Guará.

#### **2.1.5. EFLORESCÊNCIA**

Essa manifestação patológica ocorre por meio da interação entre os produtos da lixiviação com o gás carbônico presente no ar, promovendo a hidrólise do cimento e a dissolução dos produtos de cálcio. Os resultados dessas reações são crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície do concreto. (VERLY, 2015). Segundo Souza e Ripper (1998), se a carbonatação atingisse apenas a camada superficial, sem ultrapassar o cobrimento, este processo seria favorável ao elemento estrutural, pois haveria uma diminuição da porosidade e um aumento da resistência mecânica. Porém, com a alcalinidade reduzida para valores próximos a um PH 8,5 e a armadura despassivada, o processo ao alcançar as armaduras de aço leva as mesmas a

corrosão, desde que haja a presença de água e oxigênio, comprometendo seriamente a durabilidade. A *Figura 2-5* exemplifica um caso de formação acentuada de eflorescência.



Figura 2-5 Exemplo de eflorescência - Viaduto 1 acesso ao Guará/EPNB.

#### **2.1.6. CORROSÃO DAS ARMADURAS**

Souza e Ripper (1998) caracterizam a corrosão das armaduras como sendo a deterioração da camada passivante localizada ao redor da superfície das barras. Sendo esta película formada pelo impedimento da dissolução do ferro, devido à alta alcalinidade da solução aquosa existente no concreto. Marcelli (2007) afirma que a corrosão da armadura consiste em um processo eletroquímico, que pode ter sua eficiência aumentada por alguns fatores como: agentes agressivos externos e internos, que foram adicionados ao concreto, ou ainda que foram gerados pelo ambiente. Para a corrosão ocorrer de fato, é preciso da presença dos elementos: presença de oxigênio e umidade, e o estabelecimento de uma célula eletroquímica.

Conforme Fusco (2008), ocorrem duas reações, uma anódica e outra catódica. Na reação anódica, o ferro fica carregado positivamente de modo que ocorre a dissolução dos íons  $Fe^{++}$ , que passam para a solução. Na solução anódica, o Ferro irá atuar como eletrodo, junto do qual os elétrons liberados pelo anodo passam à solução, formando-se desta maneira o circuito elétrico, não havendo consumo do ferro no cátodo. Formado o efeito pilha, a corrosão terá início pela corrente elétrica que se dirige do ânodo para o cátodo, através da solução aquosa e do cátodo para o ânodo por meio da diferença de potencial.

No início da corrosão é possível observar manchas marrom-avermelhadas ou esverdeadas na superfície de concreto, podendo causar perda da seção em estágio mais avançados. A *Figura 2-6* representa o processo corrosão.



Figura 2-6 Processo de corrosão em pilar – Viaduto 1 entrada SMU/DF

### **2.1.7. ABRASÃO DO CONCRETO**

A abrasão ocorre em função do movimento relativo entre materiais com durezas diferentes. É um processo de perda de massa do material ocasionado por inúmeras asperezas duras pertencentes a uma superfície ao entrar em contato e movimento relativo com a outra. Esse fenômeno pode ser provocado pelo tráfego de pessoas e de veículos, bem como por impacto ou atrito causado pelo arraste de partículas ou objetos soltos. A resistência superficial pode ser correlacionada diretamente com a resistência à compressão, mas pode ser fortemente afetada pela exsudação do concreto, que leva a uma maior relação a/c ocasionando uma camada superficial enfraquecida. Os níveis de abrasão vão desde marcas até perdas consideráveis de seções ao longo da superfície. A *Figura 2-7* exemplifica a abrasão no concreto armado com exposição das armações.



Figura 2-7 Exemplo de abrasão do concreto com exposição de armaduras - Viaduto SPMS sobre a DF-003

### 2.1.8. DESPLACAMENTO

As armaduras de aço no concreto são protegidas da corrosão graças às condições de passividade que se desenvolvem em contato com a solução alcalina contida nos poros da pasta de compostos de cimento. A corrosão das armaduras pode, porém, ser induzida pela carbonatação do concreto ou pela penetração de cloretos. Como consequência do processo de corrosão, ocorrem as fissuras e posterior deslocamento do cobrimento de concreto (SOUZA e RIPPER, 1998). Tal fato acontece porque, ao oxidar-se, o ferro vai criando o óxido de ferro hidratado. Para ocupar o seu espaço, esse óxido exerce uma pressão sobre o material que o confina da ordem de 15 MPa, suficiente para fraturar o concreto. A *Figura 2-8* expõe o deslocamento do concreto armado com exposição de armaduras corroídas.



Figura 2-8 Exemplo de deslocamento do concreto - Viaduto sob o Eixo Monumental próximo à catedral militar

## 2.2. PESQUISAS EM DESTAQUE PARA O TEMA

Para o desenvolvimento da metodologia aplicada neste trabalho, pesquisas foram desenvolvidas com diferentes escopos de análise até serem aplicadas às OAEs. Essas metodologias foram criadas para tornarem o estudo das manifestações patológicas e da análise de degradação estrutural menos subjetivas. Dentre as pesquisas selecionadas e revisadas para estudo e embasamento na execução deste trabalho, destacam-se algumas obras em função de consistirem histórico relevante ao desenvolvimento da metodologia em estudo e de sua aplicabilidade direta com o tema desenvolvido pela dissertação.

### 2.2.1. KLEIN *et. al* (1991)

O trabalho busca essencialmente a criação de um método de padronização para a execução de vistorias em Obras de Arte Especiais em concreto armado, classificando as OAEs em função do seu grau de risco estrutural. A partir disso, é possível obter parâmetros que avaliem a prioridade de intervenção e programar cronogramas de manutenção futuros.

A metodologia se inicia com a catalogação das manifestações patológicas observadas ao longo do estudo proposto, por meio de inspeção visual. A OAE é dividida em grupos de mesmo elemento estrutural, caracterizados como famílias. Segue a lista de famílias para o caso de Obras de Arte Especiais KLEIN *et. al* (1991):

- Instalações diversas;
- Encontros;
- Instalações pluviais;
- Pavimentos;
- Juntas de dilatação;
- Aparelhos de apoio;
- Pilares;
- Tabuleiros.

Cada família possui uma lista de danos próprios possíveis, sendo atribuídas notas para cada tipo de manifestação patológica em função do grau de dano. O fator de intensidade de dano (FI) é o parâmetro de valor variável a ser indicado pelo inspetor, com escala de 0 a 4. Segue lista explicativa das escalas das notas:

- Elemento em perfeitas condições, sem lesões  $FI = 0$
- Elemento em bom estado, lesões leves  $FI = 1$
- Elementos em estado razoável, lesões toleráveis  $FI = 2$
- Elemento em más condições, lesões graves  $FI = 3$



- Elemento em péssimas condições, estado crítico  $FI = 4$

O método desenvolvido também considera pesos diferentes para cada família, chamada de fator de relevância estrutural (FR). A metodologia Klein considera a seguinte ordem para as OAEs: Instalações diversas < Encontros < Instalações pluviais e pavimento < Juntas de dilatação e aparelhos de apoio < Pilares, vigas e tabuleiros. Logo, as famílias dos pilares, vigas e tabuleiros possuem o maior fator de relevância estrutural, enquanto que as instalações diversas possuem o menor.

Outro parâmetro utilizado na metodologia Klein, é o fator de gravidade do problema ( $FG$ ). É dado por uma nota que varia entre 0 e 10, revelando o nível de comprometimento estrutural causado pelo dano ocorrido em apenas um elemento. Este fator, em conjunto com o fator de intensidade ( $FI$ ), definem a expressão do cálculo da avaliação do grau de risco do elemento ( $GRE$ ):

$$GRE = \frac{\sum (FG \cdot FI)}{\sum FG} \cdot 100 \quad \text{Equação 2.1}$$

O grau de risco do elemento ( $GRE$ ) é representado pelo somatório das análises dos danos coletados no mesmo elemento estrutural. Para o cálculo do grau de risco da família ( $GRF$ ), temos a equação a seguir:

$$GRF = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i \cdot GRE_i}{n} \quad \text{Equação 2.2}$$

Onde,

$n$  o número de elementos componentes da família;

$\delta$  o coeficiente de majoração.

O coeficiente de majoração ( $\delta$ ) tem o objetivo evidenciar o elemento em estado mais crítico na família, aumentando a sua influência no cálculo do  $GRF$ . Este coeficiente depende do  $GRE$  do elemento, estabelecidos os limites abaixo:

$$\delta = \sqrt{\frac{[(n-m)+2]}{2}} \quad \text{para } GRE > LIM \quad \text{Equação 2.3}$$

$$\delta = 1 \quad \text{para } GRE \leq LIM \quad \text{Equação 2.4}$$

Onde,

$m$  o número de elementos da família com  $GRE > LIM$

$LIM$  o valor limite do  $GRE$  acima do qual um elemento está comprometido.

Seguem os valores de ( $LIM$ ) para elementos de Obras de Arte Especiais, com base em KLEIN *et al* (1991):

- Pilares  $LIM = 100$
- Juntas de dilatação  $LIM = 210$
- Aparelhos de apoio  $LIM = 200$
- Tabuleiros  $LIM = 100$
- Encontros  $LIM = 95$

Por meio dos valores obtidos com os fatores de relevância da família ( $FR$ ) e o grau de risco da família ( $GFR$ ) para cada família de elementos, obtém-se a equação do grau de risco da estrutura ( $GR$ ):

$$GR = \frac{\sum_{i=1}^k (FR_i \cdot GFR_i)}{\sum_{i=1}^k FR_i} \quad \text{Equação 2.5}$$

Onde,

$k$  o número de famílias de elementos da obra.

KLEIN *et. al* (1991) definiu intervalos de classificação do grau de risco da estrutura a partir do valor  $GR$ , conforme *Tabela 2-1*:

Tabela 2-1 Classificação do grau de risco da estrutura (KLEIN *et. al*, 1991)

Grau de Risco	GR
Baixo	0 - 100
Médio	100 - 200
Alto	200 - 300
Crítico	> 300

### 2.2.2. CASTRO (1994)

Castro (1994) desenvolveu a metodologia de avaliação estrutural GDE/UnB. Essa metodologia é base para os procedimentos de inspeção e análise do presente trabalho. Os principais objetivos da GDE/UnB foram sistematizar e incentivar programas de manutenção periódica, bem como, evidenciar a necessidade de intervenções e manutenções periódicas, a fim de garantir o correto funcionamento da obra.

A metodologia proposta por KLEIN *et. al* (1991) foi adaptada pelo autor, tornando a avaliação mais ampla e aplicável a outros tipos de estruturas. Fez-se necessário adaptar alguns parâmetros e definições, para que fosse possível quantificar a evolução dos danos ao longo da vida útil da estrutura da edificação.

A nova metodologia se baseia em inspeções periódicas com o preenchimento de cadernos de inspeção. Dados os fatores de intensidade obtidos de cada elemento isolado, é possível obter o índice final de deterioração da estrutura. Abaixo, fluxograma explicativo da metodologia GDE/UnB.

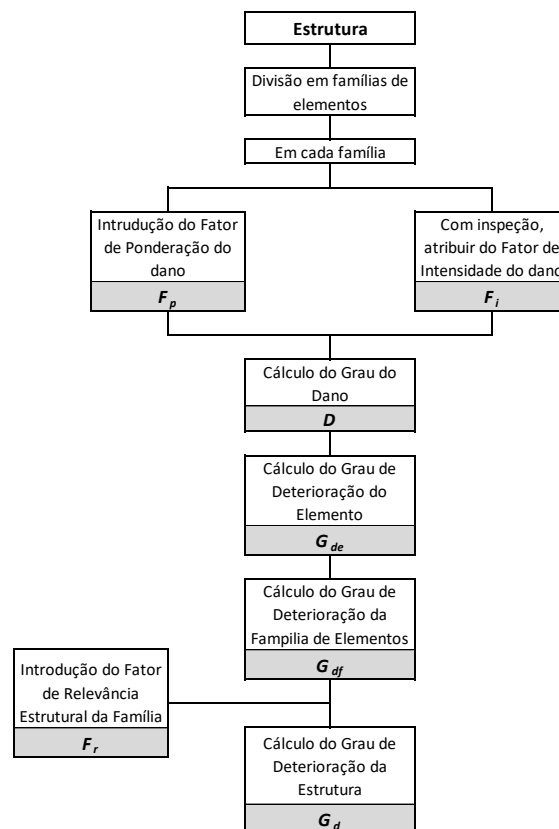


Figura 2-9 Fluxograma da metodologia GDE/UnB (CASTRO, 1994)



Os elementos estruturais da edificação são divididos em grupos denominados famílias de elementos. Para edificações de concreto armado convencionais, Castro (1994) define as seguintes famílias:

- Pilares;
- Vigas;
- Lajes;
- Cortinas;
- Escadas e rampas;
- Reservatório superior e inferior;
- Blocos;
- Juntas de dilatação;
- Elementos de composição arquitetônica.

A depender das características estruturais da edificação, o método permite adição de novas famílias ou edição destas, para que se possa contemplar a particularidade da obra.

A cada família de elementos foram listados os possíveis danos, acompanhados por um valor de Fator de Ponderação do Dano (*FP*) que varia de 1 a 10. Esse fator tem o intuito de atribuir pesos para a relevância de uma determinada manifestação patológica em função da estética, funcionalidade e segurança. Dessa forma, manifestações iguais podem ter fatores de ponderação diferentes em função das características da família de origem. A *Tabela 2-2* representa as famílias, os danos e seus respectivos fatores de ponderação.

PILARES		CORTINAS		RESERVATÓRIOS	
Danos	$F_p$	Danos	$F_p$	Danos	$F_p$
Desvio de geometria	8	Sinais de esmagamento	10	Impermeabilização danificada	8
Recalque	10	Desvio de geometria	6	Vazamento	10
Infiltração na base	6	Infiltração	6	Segregação	5
Segregação	6	Segregação	5	Lixiviação	7
Lixiviação	5	Lixiviação	5	Esfoliação	10
Esfoliação	8	Esfoliação	8	Desagregação	7
Desagregação	7	Desagregação	7	Cobrimento deficiente	7
Sinais de esmagamento	10	Deslocamento por empuxo	10	Manchas de corrosão	9
Cobrimento deficiente	6	Cobrimento deficiente	6	Fissuras	10
Manchas de corrosão	7	Manchas de corrosão	7	Carbonatação	7
Fissuras	10	Fissuras	10	Presença de cloretos	10
Carbonatação	7	Carbonatação	7		
Presença de cloretos	10	Presença de cloretos	10		
Manchas	5	Manchas	5		

VIGAS		ESCADAS/RAMPAS		LAJES	
Danos	$F_p$	Danos	$F_p$	Danos	$F_p$
Segregação	4	Segregação	4	Segregação	5
Lixiviação	5	Lixiviação	5	Lixiviação	3
Esfoliação	8	Esfoliação	8	Esfoliação	8
Desagregação	7	Desagregação	7	Desagregação	7
Cobrimento deficiente	6	Cobrimento deficiente	6	Cobrimento deficiente	6
Manchas de corrosão	7	Manchas de corrosão	7	Manchas de corrosão	7
Flechas	10	Flechas	10	Flechas	10
Fissuras	10	Fissuras	10	Fissuras	10
Carbonatação	7	Carbonatação	7	Carbonatação	7
Infiltração	6	Infiltração	6	Infiltração	6
Presença de cloretos	10	Presença de cloretos	10	Presença de cloretos	10
Manchas	5	Manchas	5	Manchas	5

Tabela 2-2 Famílias, danos e fatores de ponderação (CASTRO, 1994)

Com base na inspeção visual, o responsável pela vistoria deve atribuir um Fator de Intensidade do Dano ( $F_i$ ) para o dano avaliado. O autor define a seguinte escala de avaliação para esse fator:

- Sem lesões  $F_i = 0$
- Lesões leves  $F_i = 1$
- Lesões toleráveis  $F_i = 2$
- Lesões graves  $F_i = 3$
- Estado crítico  $F_i = 4$

A fim de evitar a subjetividade da avaliação das intensidades dos danos, Castro (1994) desenvolveu uma sistematização com a descrição de cada nível de dano como forma

balizamento para o responsável da vistoria, possibilitando uma análise mais objetiva. Como exemplo, temos a *Tabela 2-3*.

Tabela 2-3 Exemplo de classificação de danos nos fatores de intensidade (CASTRO, 1994)

Tipos de danos	Fator de intensidade do dano ( $F_i$ ) - Tipos de manifestação
Segregação	1- Superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça; 2- Significante em relação às dimensões da peça; 3- Profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura; 4- Perda relevante da seção da peça.
Eflorescência	1- Início de manifestação; 2- Manchas de pequenas dimensões; 3- Manchas acentuadas, em grandes extensões.
Desagregação	2- Início de manifestação; 3- Manifestações leves; 4- Por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto.
Cobrimento	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 da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões; 3- Deficiente com armaduras expostas em extensões significativas.
Manchas de corrosão ou Corrosão da armadura	2- Manifestações leves; 3- Grandes manchas e/ou fissuras de corrosão; 4- Corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção.
Flechas	1- Não perceptíveis a olho nu; 2- Perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos em norma; 3- Superiores em até 40% às previstas na norma; 4- Excessivas.
Fissuras	1- Aberturas menores do que as máximas previstas em norma; 2- Estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma; 3- Aberturas excessivas, estabilizadas; 4- Aberturas excessivas, não estabilizadas.

O parâmetro Grau de Dano ( $D$ ) é um fator introduzido na metodologia para quantificar a manifestação de cada dano, baseado no modelo de evolução da deterioração no concreto no tempo conforme trabalho apresentado por Tuutti (1982). Este parâmetro é influenciado pelo fator de ponderação –  $F_p$  – e o fator de intensidade –  $F_i$ .

De maneira análoga ao modelo de Tuutti (1982), a GDE/UnB propõe a formulação do grau de dano ( $D$ ) visualizada na *Figura 2-10*, considerando um fator de ponderação  $F_p = 10$ . O eixo das abcissas refere-se aos valores de fatores de intensidade ( $F_i$ ), variando de 0 a 4. Percebe-se que no valor 2,5 de fator de intensidade há a mudança de fase e que o valor máximo do grau de dano é  $D=100$ .

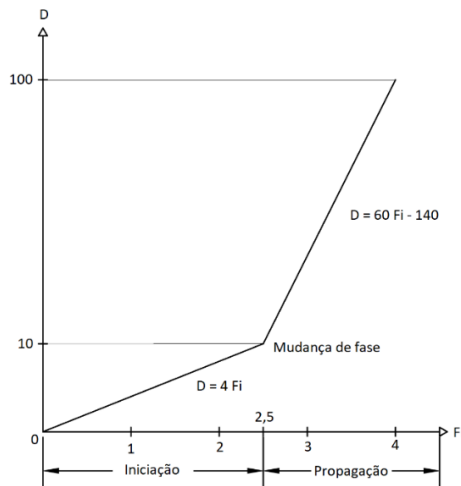


Figura 2-10 : Formulação do Grau de dano (CASTRO, 1994)

A primeira reta marca a fase de iniciação, partindo da origem até o ponto de mudança de fase. Nesta etapa, a estrutura não deve estar comprometida ou com necessidade de intervenção imediata. A partir do ponto de mudança de fase, a estrutura está situada na região de propagação, na qual os danos são propagados de forma mais vertiginosa, requerendo interferências mais imediatas. Seguem as equações do valor de grau de dano a partir do gráfico.

Equação 2.6

$$D = 0,4 \cdot F_i \cdot F_p \quad \text{para } F_i \leq 2$$

Equação 2.7

$$D = (6 \cdot F_i - 14) \cdot F_p \quad \text{para } F_i \geq 3$$

O Grau de Deterioração de um Elemento ( $G_{de}$ ) para um elemento isolado é dado pela seguinte fórmula:

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \quad \text{para } m \leq 2 \quad \text{Equação 2.8}$$

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} + \frac{\sum_{i=1}^{m-1} D_i}{m-1} \quad \text{para } m > 2 \quad \text{Equação 2.9}$$

Onde,

$m$  o número de danos detectados no elemento;

$D_i$  o grau do dano de ordem (i).

O objetivo da formulação é considerar a correta interferência entres os danos dos elementos. Nota-se que para os elementos que apresentam até dois danos, prevalece o maior. Entretanto, quando se trata de um elemento com mais de dois danos, a influência da superposição de danos é considerada de modo que o cálculo é realizado somando o maior dano com a média dos demais. Com este parâmetro calculado, Castro (1994) propõe as medidas a serem adotadas, conforme *Tabela 2-4*:

Tabela 2-4 Classificação de Níveis de Deterioração do Elemento (CASTRO, 1994)

Nível de deterioração	$G_{de}$	Medidas a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável
Médio	15 - 50	Observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo
Alto	50 - 80	Observação periódica minuciosa e necessidade de intervenção a curto prazo
Crítico	> 80	Necessidade de intervenção imediata para restabelecer funcionalidade e/ou segurança

Com os valores do grau de deterioração dos elementos ( $G_{de}$ ), pode-se obter o Grau de Deterioração de uma Família ( $G_{df}$ ). Este parâmetro é calculado pela média aritmética entre os graus de deterioração dos elementos componentes da família, considerando no cálculo apenas os valores de  $G_{de} \geq 15$ , com intuito de tornarem relevantes os danos com maior nível de comprometimento. Caso a família apresente somente elementos com valores de  $G_{de} < 15$ , o valor do parâmetro de grau de deterioração da família será  $G_{df} = 0$ . A Equação 2.10, a seguir, apresenta o cálculo do Grau de Deterioração da Família ( $G_{df}$ ).

$$G_{df} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{de(i)}}{n} \quad \text{Equação 2.10}$$

Onde,

$n$  o número de elementos componentes da família com  $G_{de} \geq 15$ .

O parâmetro Fator de Relevância Estrutural ( $F_r$ ) atribui pesos para cada família de elementos em análise, a evidenciar a importância relativa das diferentes famílias de elementos no

conjunto da edificação. Segue a lista de famílias de elementos e seus respectivos índices de fator de relevância estrutural, conforme proposto por Castro (1994):

- Elementos de composição arquitetônica  $F_r = 1,0$
- Reservatório superior  $F_r = 2,0$
- Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas e lajes secundárias  $F_r = 3,0$
- Lajes, fundações, vigas secundárias e pilares secundários  $F_r = 4,0$
- Vigas e pilares principais  $F_r = 5,0$

Com base nos resultados do grau de deterioração da família ( $G_{df}$ ) e seus respectivos fatores de relevância ( $F_r$ ), é possível se obter o parâmetro final de análise, o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), conforme Equação 2.11 a seguir.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k F_{r(i)} \cdot G_{df(i)}}{\sum_{i=1}^k F_{r(i)}} \quad \text{Equação 2.11}$$

Sendo,

$k$  o número de famílias de elementos presentes na edificação;

$F_r$  o fator de relevância estrutural de cada família;

$G_{df}$  o grau de deterioração da família de elementos.

Dado o valor de  $G_d$  calculado, Castro (1994) estipula intervalos de classificação do nível de deterioração da estrutura e suas respectivas propostas de intervenção. A *Tabela 2-5* a seguir dispõe a classificação, indicando as intervenções a médio e curto prazo, a fim de promover a manutenção corretiva adequada para a obra em análise.

Tabela 2-5 Classificação de níveis de deterioração da estrutura (CASTRO, 1994)

Nível de deterioração	$G_d$	Medidas a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável
Médio	15 - 40	Observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo
Alto	40 - 60	Observação periódica minuciosa e necessidade de intervenção a curto prazo
Crítico	> 60	Necessidade de intervenção imediata para restabelecer funcionalidade e/ou segurança

Embora a tabela acima seja uma grande ferramenta de análise, deve ser entendida como um resultado global da estrutura. Percebe-se que há a possibilidade de danos críticos isolados em estruturas globalmente classificadas com baixo nível de deterioração, podendo existir a necessidade de intervenções imediatas nesses elementos isolados. (CASTRO, 1994).

### 2.2.3. VERLY (2015)

No trabalho de 2015, o autor propôs a comparação entre a metodologia GDE/UnB e a metodologia SGO/DNIT. Para tanto, foram inspecionadas 22 Obras de Arte Especiais na cidade de Brasília – DF. O presente trabalho trata da metodologia GDE/UnB, de modo que este tópico focará nos resultados obtidos por este método.

Verly (2015) adotou apenas a inspeção visual como método de vistoria, logo não foi possível avaliar os danos por carbonatação e contaminação por cloretos, sendo retirados das fichas de avaliação na pesquisa desenvolvida. Utilizou-se das famílias propostas por Euqeres (2011), incluídas as travessas e transversinas que acompanham fator de relevância estrutural de 5 e 3, respectivamente. Para o cálculo do grau de deterioração das famílias ( $G_{df}$ ), foram usados tanto os valores de grau de deterioração de elementos menores que 15, quanto os maiores que 15, obtendo dois resultados para o grau de deterioração estrutural a serem comparados.

No trabalho de Verly (2015) são apresentadas tabelas que descrevem as características dos danos para cada fator de intensidade, importante instrumento utilizado para ponderação dos danos nesta monografia. As *Tabelas 2-6 e 2-7* exprimem essas informações.

Tabela 2-6 Fatores de intensidade por danos – Parte 1 (VERLY, 2015)

<b>Tipos de danos</b>	<b>Valores de <math>F_i</math></b>
Carbonatação	1 → localizada, com regiões com pH < 9, sem afetar as armaduras. 2 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco. 3 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido. 4 → generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.
Cobrimento deficiente	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.
Contaminação por cloretos	2 → elementos abrigados sem umidade 3 → elementos no exterior sem umidade 4 → ambientes úmidos.
Corrosão de armaduras	2 → manifestações leves, pequenas manchas. 3 → grandes manchas e/ou fissuras de corrosão. 4 → corrosão acentuada da armadura principal, com perda relevante de seção (> 20% do diâmetro).
Desagregação	2 → início de manifestação. 3 → manifestações leves, início de estofamento do concreto. 4 → por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto.
Deslocamento por empuxo	3 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável. 4 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável.
Desplacamento	2 → pequenas escamações do concreto. 3 → lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura. 4 → lascamento acentuado com perda relevante de seção.
Desvios de Geometria	2 → pilares e cortinas com excentricidade $e \leq h/100$ ( $h = \text{altura}$ ). 3 → pilares e cortinas com excentricidade $h/100 \leq e < h/50$ . 4 → pilares e cortinas com excentricidade $e \geq h/50$ .
Eflorescência	1 → início de manifestações. 2 → manchas de pequenas dimensões. 3 → manchas acentuadas, em grandes extensões. 4 → grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).
Falha de concretagem	1 → superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça. 2 → significativa em relação às dimensões da peça. 3 → significativa em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura. 4 → perda relevante da seção transversal da peça (> 20% da área).
Fissuras	1 → abertura menores do que as máximas previstas em norma. 2 → estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma. 3 → aberturas excessivas; estabilizadas. 4 → aberturas excessivas: não estabilizadas.



Tabela 2-7 Fatores de intensidade por danos - Parte 2 (VERLY, 2015)

<b>Tipos de danos</b>	<b>Valores do Fator de Intensidade do Dano</b>
Flechas	1 → não perceptíveis a olho nu. 2 → perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma. 3 → superiores em até 40% às previstas na norma. 4 → excessivas.
Impermeabilização deficiente	2 → danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização. 3 → descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração). 4 → degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.
Infiltração de água	1 → indícios de umidade. 2 → pequenas manchas. 3 → grandes manchas. 4 → generalizada.
Manchas	2 → manchas escuras de pouca extensão, mas significativas (< 50% da área visível do elemento estrutural). 3 → manchas escuras de grande extensão (>50%). 4 → manchas escuras em todo o elemento estrutural (100%).
Obstrução de juntas de dilatação	2 → perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes. 3 → presença de material não compressível na junta; incidência significativa de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes. 4 → fissuras em lajes e paredes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.
Recalques	2 → indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria; 3 → recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais. 4 → recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
Sinais de esmagamento do concreto	3 → desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas. 4 → fissuras bi-diagonais, com lascamento e/ou esmagamento do concreto por cisalhamento-compressão, com perda substancial de material; exposição e início de flambagem de armaduras.

O Roteiro de Inspeção de Pontes de Concreto Armado, atualizado por Euqeres (2011) foi intitulado como Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB em OAEs após a revisão de Verly (2015), com base na análise dos resultados e de acordo à norma vigente NBR 6118:2014. A *Tabela 2-8* demonstra os resultados obtidos para ambas as metodologias analisadas, sendo para a metodologia GDE/UnB atribuída uma coluna identificada como  $G_d^*$ , considerando todos os valores de  $G_{de}$  e outra coluna para  $G_d$ , considerando apenas os  $G_{de} > 15$ .

Tabela 2-8 Resultados das metodologias SGO/DNIT e GDE/UnB (VERLY, 2015)

Obra	DNIT (Nota Técnica)	GDE/UnB	
		$G_d$	$G_d^*$
OAE-01	3	31,24	30,12
OAE-02	3	65,88	40,02
OAE-03	3	49,24	42,43
OAE-04	3	62,70	25,64
OAE-05	3	77,58	36,20
OAE-06	3	84,53	50,23
OAE-07	3	50,87	42,34
OAE-08	3	60,00	35,18
OAE-09	3	59,38	39,18
OAE-10	3	68,68	68,74
OAE-11	2	121,25	121,25
OAE-12	2	130,03	130,23
OAE-13	2	103,25	104,99
OAE-14	3	31,90	21,61
OAE-15	3	41,23	28,02
OAE-16	2	94,96	69,44
OAE-17	2	106,49	106,59
OAE-18	3	62,14	51,42
OAE-19	3	37,02	30,89
OAE-20	3	55,85	30,58
OAE-21	4	48,44	25,28
OAE-22	4	49,39	29,49

Após a comparação dos resultados, o autor identificou que os dois valores de  $G_d$  deram relativamente próximos, sendo o  $G_d^*$  na maioria das vezes inferior ou igual ao  $G_d$ . Essa diferença é explicada pela diminuição da média na equação do grau de deterioração da estrutura (*Equação 2.9*), quando são considerados os valores de  $G_{de} < 15$ . Foram considerados  $G_d$  como os mais condizentes para as propostas de intervenções e necessidade de manutenção.

Por meio de análise da consistência estatística dos dados, foi observado que o equacionamento do grau de deterioração da estrutura não é consistente quando os números de manifestações patológicas crescem ou diminuem na mesma análise. Essa inconsistência pode ser explicada pela influência da média ponderada do fator de ponderação na equação. Por esse

motivo, Verly (2015) propôs uma nova formulação do grau de deterioração estrutural ( $G_d$ ), conforme Equação 2.12.

$$G_{d,mod} = \frac{K_{m\acute{a}x}}{7,07} \cdot \sqrt{1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^k K_i\right) - K_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^k K_i}}$$

Equação 2.12

Onde,

$k$  o número de famílias da estrutura;

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

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

A Tabela 2-9 apresenta os cálculos refeitos para 22 OAEs com a nova formulação de  $G_d$ , equacionada por Verly (2015).

Tabela 2-9 Resultados das metodologias SGO/DNIT E GDE/UnB com formulação modificada do  $G_d$  (VERLY, 2015)

Obra	DNIT (Nota Técnica)	GDE/UnB		
		$G_{d,mod}$	$G_{d,mod}^*$	$G_d$
OAE-01	3	29,54	29,96	31,24
OAE-02	3	64,22	64,58	65,88
OAE-03	3	57,22	58,44	49,24
OAE-04	3	32,17	34,96	62,7
OAE-05	3	54,85	59,56	77,58
OAE-06	3	59,76	62,83	84,53
OAE-07	3	46,74	47,75	50,87
OAE-08	3	33,94	37,82	60
OAE-09	3	41,98	49,29	59,38
OAE-10	3	68,62	68,70	68,68
OAE-11	2	134,32	134,32	121,25
OAE-12	2	133,07	133,34	130,03
OAE-13	2	107,45	109,76	103,25
OAE-14	3	34,08	36,29	31,9
OAE-15	3	38,53	39,88	41,23
OAE-16	2	109,35	111,44	94,96
OAE-17	2	114,99	115,03	106,49
OAE-18	3	35,15	35,73	62,14
OAE-19	3	41,49	43,97	37,02
OAE-20	3	46,33	47,63	55,85
OAE-21	4	39,94	43,45	48,44
OAE-22	4	42,83	55,74	49,93

Os novos valores de  $G_{d.mod}^*$  se apresentaram maiores que os valores de  $G_{d.mod}$ , portanto a nova formulação dispôs resultados mais coerentes com a avaliação. A *Equação 2.12* permitiu a aplicação da metodologia GDE/UnB também em estruturas com baixo nível de deterioração, de modo que os danos com valores baixos também fossem considerados nas análises. Baseado nas concepções propostas por Verly (2015), concluiu-se que a metodologia GDE/UnB é mais eficiente na priorização de intervenções, pois engloba todas as escalas e dispersões entre valores, facilitando o processo de classificação e de tomada de decisão.

#### 2.2.4. LAURIA (2018)

O trabalho realizado por Lauria (2018) teve como objetivo principal a inspeção e apresentação de resultados pela metodologia GDE/UnB para 24 viadutos das entrequadras que contemplam o Eixo Rodoviário Sul da cidade de Brasília – DF, sendo subdivididos entre as pistas do Eixo W, Eixo Central e Eixo L, para melhor exposição dos resultados.

A autora realizou apenas inspeções visuais, portanto foram retiradas as avaliações dos danos por carbonatação do concreto e a contaminação por cloretos elencados das fichas do Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OAEs de Verly (2015), visto a necessidade de amostras e ensaios de laboratório específicos.

Houve a adição da abrasão para as análises, por se tratar de um dano recorrente para estes tipos de OAEs. A abrasão é caracterizada pelo arrasto de um agente externo móvel contra a superfície do concreto. Esse arrasto pode ser causado pela água, ar ou até mesmo por veículos que passam pela estrutura.

Com base em fatores de comprometimento da estética, funcionalidade, segurança da estrutura e gravidade da manifestação, foi considerado um fator de ponderação  $F_p = 3$  para a abrasão. Lauria (2018), portanto, define os fatores de intensidade para o dano de abrasão conforme a lista a seguir:

- Quebra de seção  $F_i = 2$
- Quebra de seção provocando fissuras  $F_i = 3$
- Quebra de seção com arrasto na superfície  $F_i = 4$

De modo padrão para todas as OAEs avaliadas, as famílias e seus respectivos fatores de relevância são apresentados a seguir. Vale ressaltar que a autora baseou-se nas inspeções visuais e consultas aos projetos do Arquivo Público de Brasília para obter a classificação de famílias de elementos.

- Guarda-rodas  $F_r = 1$
- Pista de Rolamento  $F_r = 2$
- Cortina  $F_r = 3$
- Tabuleiro  $F_r = 4$
- Cortina Central  $F_r = 5$

De acordo à disposição das vias do centro de Brasília, tanto o Eixo Rodoviário Sul quanto o Norte possuem uma pista central chamada Eixão, duas vias laterais, divididos entre o Eixo L e o Eixo W. Para cada par de quadra há 3 viadutos a serem avaliados, sendo nomeadas de Eixão, Eixo L e Eixo W. Seguindo essa linha, para melhor análise, algumas famílias tiveram elementos divididos. A família de guarda-rodas foi dividida entre os elementos guarda-rodas L, W e C. A cortina dividida cortina norte L, cortina norte W, cortina sul L e cortina sul W. A cortina central foi dividida entre central norte e central sul. É válido lembrar que a cortina central tem fator de relevância maior, por esta razão foi separada das demais. As *Figuras 2-11 e 2-12* abaixo demonstram a divisão dos elementos dos viadutos do Eixo L, W e Eixão.

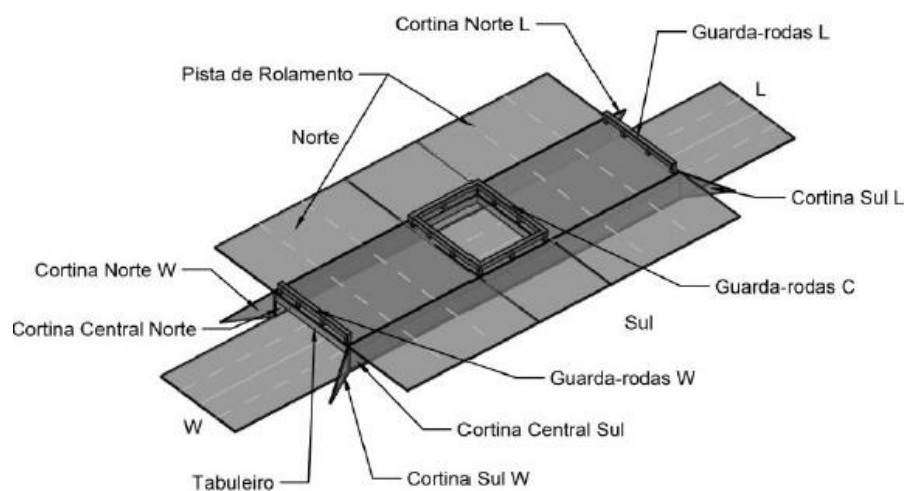


Figura 2-11 Elementos dos viadutos dos Eixos L e W (LAURIA, 2018)

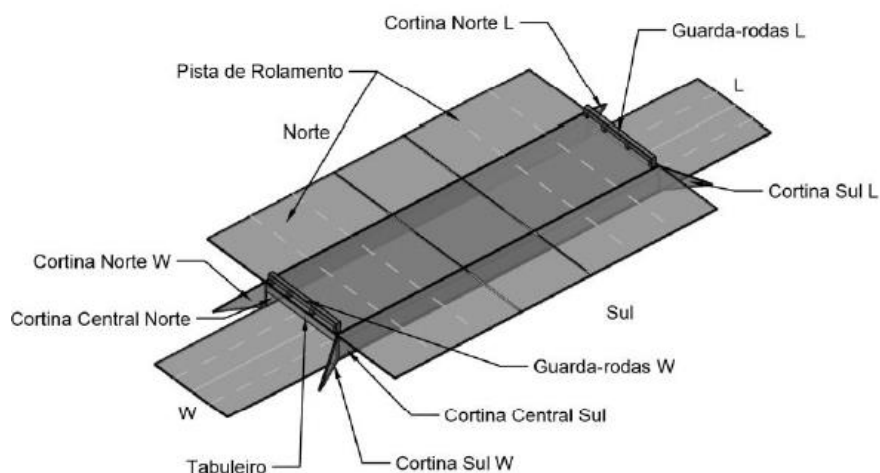


Figura 2-12 Elementos dos viadutos do Eixão (LAURIA, 2018)

O estudo teve como base o Manual de Aplicações da Metodologia GDE/UnB a OAEs proposto por Verly (2015), avaliando o valor de  $G_d$  para os dois casos: considerando os valores de  $G_{de}$  menores que 15 no cálculo do grau de deterioração da família  $G_{df}$  e não os considerando. A Tabela 2-10 apresenta os resultados obtidos com o trabalho de inspeção para os 24 viadutos analisados por Lauria (2018).

Tabela 2-10 Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB – Eixo Rodoviário Sul (LAURIA, 2018)

Quadra	Viaduto	$G_d^*$	Nível de Deterioração	$G_d$	Nível de Deterioração
01/02	W	43,44	Médio	44,34	Médio
	Eixão	23,17	Médio	24,08	Médio
	L	43,71	Médio	44,19	Médio
03/04	W	29,50	Médio	32,12	Médio
	Eixão	59,98	Alto	61,01	Alto
	L	69,62	Alto	70,46	Alto
05/06	W	97,65	Sofrível	97,91	Sofrível
	Eixão	27,07	Médio	27,07	Médio
	L	88,30	Sofrível	88,79	Sofrível
07/08	W	71,16	Alto	73,59	Alto
	Eixão	79,45	Alto	80,06	Sofrível
	L	79,86	Alto	82,10	Sofrível
09/10	W	47,09	Médio	47,09	Médio
	Eixão	23,87	Médio	23,87	Médio
	L	33,34	Médio	33,88	Médio
11/12	W	67,01	Alto	68,12	Alto
	Eixão	44,88	Médio	45,14	Médio
	L	27,40	Médio	31,71	Médio
13/14	W	47,27	Médio	48,05	Médio
	Eixão	28,10	Médio	31,49	Médio
	L	61,29	Alto	65,37	Alto
15/16	W	50,51	Alto	51,08	Alto
	Eixão	55,49	Alto	56,80	Alto
	L	88,52	Sofrível	89,65	Sofrível

Comparando os resultados obtidos para o  $G_d^*$  e  $G_d$ , obteve-se o valor de 1,2 como diferença máxima entre esses resultados. Desta forma, Lauria (2018) considerou o resultado que leva todos os valores de  $G_{de}$  no cálculo. De maneira geral, tem-se que: 21% dos viadutos foram classificados em estado sofrível, com recomendação de intervenção em no máximo 6 meses; 29% encontravam-se com nível de deterioração alto (intervenção em 1 ano, no máximo); 50% restantes obtiveram classificação média de deterioração, permitindo manutenção em até dois anos. Os resultados obtidos por Lauria (2018) foram considerados satisfatórios para o embasamento de tomadas de decisão.

### 2.2.5. PAVONI (2019)

De maneira semelhante ao trabalho desenvolvido por Lauria (2018), Pavoni (2019) aplicou a metodologia GDE/UnB aos viadutos das entrequadras do Eixo Rodoviário Norte da cidade de Brasília – DF, sendo os viadutos subdivididos entre as pistas do Eixo W, Eixo Central e Eixo L totalizando 24 viadutos.

Pavoni (2019) sugeriu a subdivisão dos fatores de intensidade para o dano de abrasão proposto por Lauria (2018) da seguinte maneira:

- Arrasto na superfície  $F_i = 2$
- Quebra de seção leve provocando fissuras  $F_i = 3$
- Quebra de seção com exposição de armaduras  $F_i = 4$

Para as divisões de famílias e seus respectivos fatores de relevância  $F_r$ , PAVONI (2019) baseou-se nas últimas atualizações do método GDE/UnB.

- Guarda-rodas  $F_r = 1$
- Pista de Rolamento  $F_r = 2$
- Cortina  $F_r = 3$
- Tabuleiro  $F_r = 4$
- Cortina Central  $F_r = 5$

A fim de manter a padronização anterior de Lauria (2018), foi realizada a divisão com relação aos pontos cardeais para as famílias dos viadutos das entrequadras, de forma semelhante à proposta ao Eixo Rodoviário Sul. A família de guarda-rodas ganhou denominação L, W e C

em função da direção cardeal leste, oeste ou central do viaduto. A família de cortina foi dividida em duas direções cardeais, norte ou sul e L ou W. A cortina central foi dividida em cortina central norte e cortina central sul.

Com base no Manual de Aplicação de Metodologia GDE/UnB a Obras de Artes Especiais proposto por Verly (2015) junto às atualizações propostas por Lauria (2018), o trabalho de Pavoni (2019) expôs a avaliação de 24 OAEs. Os cálculos realizados consideraram os valores de  $G_{de}$  menores que 15 no grau de deterioração da família ( $G_{df}$ ), além da proposição sem esses valores para a comparação entre os resultados finais. Segue abaixo *Tabela 2-11* com os resultados obtidos.

Tabela 2-11 Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB – Eixo Rodoviário Norte (PAVONI, 2019)

Quadra	Viaduto	$G_d^*$	$G_d$	Diferença $G_d$ e $G_d^*$	Nível de Deterioração
01/02	W	40,44	40,67	0,23	Médio
	Central	41,37	43,60	2,24	Médio
	L	45,57	46,77	1,20	Médio
03/04	W	56,35	56,71	0,35	Alto
	Central	62,62	62,88	0,26	Alto
	L	43,41	44,95	1,55	Médio
05/06	W	59,99	60,35	0,35	Alto
	Central	23,75	23,86	0,10	Médio
	L	46,82	50,17	3,35	Alto
07/08	W	59,41	59,79	0,38	Alto
	Central	35,34	36,20	0,86	Médio
	L	48,81	49,65	0,84	Médio
09/10	W	5,12	12,82	7,70	Baixo
	Central	23,94	27,49	3,55	Médio
	L	33,22	36,93	3,71	Médio
11/12	W	68,86	69,38	0,51	Alto
	Central	52,59	57,35	4,76	Alto
	L	26,05	28,57	2,52	Médio
13/14	W	22,64	24,46	1,83	Médio
	Central	9,05	11,04	1,99	Baixo
	L	66,94	72,90	5,96	Alto
15/16	W	47,45	47,45	0,01	Médio
	Central	59,24	59,52	0,28	Alto
	L	44,53	44,82	0,28	Médio

Com base na tabela acima, nota-se que os valores de  $G_d$  e  $G_d^*$ , sofreram uma variação máxima de 7,70. O autor optou por adotar os valores do  $G_d$  para as considerações finais, resultado que inclui todos os valores de  $G_{de}$  no cálculo.



Santiago & Azevedo (2012) executaram a avaliação das mesmas Obras de Arte Especiais em 2012, Pavoni (2019) optou por realizar um comparativo de resultados do estudo feito em 2019. É importante recordar que os dados fornecidos por Pavoni (2019) sofreram a adaptação da formulação proposta por Verly (2015), dada pela Equação 2.17, para o da Equação 2.11 proposta por Castro (1994) a fim de efetuar a correta comparação junto às equações utilizadas por Santiago & Azevedo (2012). A Tabela 2-12 apresenta o comparativo.

Tabela 2-12 Comparativo dos resultados obtidos entre SANTIAGO & AZEVEDO (2012) e PAVONI (2019)

Quadra	Viaduto	G <sub>d</sub> * (Santiago & Azevedo, 2012)	G <sub>d</sub> * (Pavoni, 2019)
01/02	W	37,04	36,88
	Central	29,64	43,20
	L	37,04	31,14
03/04	W	49,63	38,54
	Central	27,43	52,83
	L	55,87	43,40
05/06	W	61,49	51,20
	Central	59,06	24,88
	L	68,45	29,92
07/08	W	59,84	50,37
	Central	53,95	22,48
	L	54,36	28,99
09/10	W	36,00	2,78
	Central	0,00	7,81
	L	54,36	12,53
11/12	W	36,57	60,19
	Central	57,13	47,93
	L	0,00	23,98
13/14	W	28,71	17,14
	Central	0,00	4,92
	L	56,80	32,20
15/16	W	28,71	48,13
	Central	0,00	45,72
	L	56,80	43,04

A comparação dos resultados mostra uma divergência entre os valores obtidos em 2012 e os de 2019. Embora exista o caráter subjetivo dado pelo avaliador da edificação, além das considerações acerca da atribuição dos fatores de intensidade do dano, as diferenças foram significativas, impondo em muitos casos a alteração de classificação do nível de deterioração das OAEs.

Com o intuito de auxiliar trabalhos futuros, Pavoni (2019) elaborou um anexo como guia para avaliação dos fatores de intensidade. Neste anexo foram elencados os principais danos observados nas vistorias e os seus respectivos fatores de intensidade ( $F_i$ ), além da disposição de registros fotográficos para auxiliar a tomada de decisão de avaliadores em inspeções futuras.

## 2.3. PESQUISAS RELACIONADAS AO TEMA

A seguir são apresentadas pesquisas relacionadas ao tema discutido no presente trabalho. Essas análises constituem instrumento de desenvolvimento da metodologia GDE/UnB aplicada a diferentes tipologias estruturais, além de propor uma estruturação mais pragmática aos avaliadores de futuras inspeções.

### 2.3.1. ANDRADE (1997)

O estudo de Andrade (1997) propôs a elaboração um banco de dados de inspeções de prédios do Pernambuco. Em um desses edifícios foi usado a metodologia GDE/UnB.

O edifício selecionado tem característica residencial, do qual foram inspecionados 44 elementos no total, sendo: 18 pilares, 16 vigas e 10 aparelhos de apoio no nível da garagem. Seguindo a metodologia de Castro (1994), os graus de deterioração da estrutura foram calculados. O resultado de  $G_d$  igual a 95,2 evidenciou o estado crítico da estrutura. Nesse caso, recomenda-se intervenção imediata. A *Tabela 2-13* apresenta o resumo dos resultados obtidos pelo autor.

Tabela 2-13 Resultados obtidos (ANDRADE, 1997)

Família de elementos	$G_{df}$	$F_r$	$G_{df} \cdot F_r$
Pilar	109,48	5	547,4
Viga	67,12	5	335,63
Aparelho de apoio	112,39	4	449,56
<b>Total</b>		14	1332,59
		<b><math>G_d =</math></b>	<b>95,2</b>

Na análise do autor, a localidade do edifício foi considerada agressiva ao concreto armado devido à alta temperatura e umidade excessiva. Esse ambiente exprime a necessidade de manutenção contínua para que a estrutura mantenha padrões satisfatórios de utilização. O autor aponta que a falta de controle de qualidade na execução da obra, bem como falhas na concepção de projeto e de manutenções preventivas na estrutura exortam os principais motivos para o resultado crítico obtido.

### 2.3.2. LOPES (1998)

Lopes (1998) utilizou a metodologia GDE/UnB para complementar a inspeção técnica e formar um banco de dados no sistema SISCOP, utilizado como sistema de manutenção predial adotado pelo Banco do Brasil S.A. O trabalho verificou a condição de prédios de uso comercial de propriedade do Banco do Brasil S.A. na época, localizados nas cidades de Santo Amaro, Porto Alegre, Rio de Janeiro, Salvador e Brasília.

O autor propôs a retirada da família de juntas de dilatação, visto que as juntas são executadas próximas a outros componentes estruturais que formam famílias, tais como: pilares, vigas e lajes. Portanto, a avaliação das juntas passou a ser considerado um dano dentro das famílias supracitadas.

Outra mudança adotada pelo autor foi a unificação dos recalques e deslocamentos, denominado dano recalque/deslocamento. Além disso, o dano de corrosão, que era denominado como mancha de corrosão originalmente, passou a ser denominado corrosão, sendo agora englobado todos os estágios da corrosão. Foram acrescentados os danos: deformação lenta/fluência, sobrecarga, agressão ambiental e junção de elementos. Dadas as alterações, segue tabela com as novas proposições dos fatores de ponderação ( $F_p$ ).

Dano estrutural	Fator de Ponderação - $F_p$							
	Pilar	Viga	Laje	Escada ou Rampa	Cortina	Reservatório	Bloco	Peça de Arquitetura
Segregação	6	4	5	4	5	5	6	4
Lixiviação/Eflorescência	5	5	3	5	5	7	5	3
Desagregação	7	7	7	7	7	7	7	7
Esfoliação	8	8	8	8	8	8	8	8
Carbonatação	7	7	7	7	7	7	7	7
Fissuração inaceitável	10	10	10	10	10	10	10	8
Flecha/Flambagem	10	10	10	10	10	10	10	10
Desvio de geometria	9	7	7	7	7	8	7	7
Cobrimento deficiente	6	6	6	6	6	7	6	6
Corrosão	7	7	7	7	7	9	7	7
Cloreto (presença)	10	10	10	10	10	10	10	10
Mancha	5	5	5	5	5	6	5	5
Deformação lenta	8	9	8	8	8	8	8	8
Carga acidental	10	10	10	10	10	10	10	10
Agressão ambiental	8	8	8	8	8	8	8	8
Infiltração/Vazamento	6	6	6	6	6	9	6	6
Recalque/Deslocamento	10	10	10	10	10	10	10	10
Ninho de concretagem	8	8	7	7	8	9	8	8
Esmagamento	10	9	7	7	10	9	10	7
Junta danificada	10	8	6	7	6	5	-	5
Junção de elementos	10	8	7	7	8	9	8	6

Tabela 2-14 Proposição de Fatores de Ponderação de danos (LOPES, 1998)

O autor também indicou a alteração no cálculo do grau de deterioração do elemento (*Gde*). Enquanto a formulação original de Castro (1994) evidenciava a preponderância do maior grau de dano, no caso de até dois danos; ou a soma da média dos demais a partir da ocorrência de três ou mais danos, Lopes (1998) questiona a eficácia dessa formulação no crescimento da deterioração do elemento quando novos danos são causados. A seguir, o novo equacionamento proposto pelo autor.

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \cdot \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_{(i)} - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m D_{(i)}} \right) \quad \text{Equação 2.13}$$

Sendo,

$m$  o número de danos detectados no elemento;

$D_i$  o grau do dano de ordem (i);

$D_{m\acute{a}x}$  o maior grau de dano

A nova formulação possui tendência máxima de aproximadamente 200, conforme equacionamento original da metodologia GDE/UnB. No entanto, o crescimento do grau de deterioração do elemento é dado de maneira gradual, independentemente do número de danos. Desse modo, não é possível obter o maior valor de *Gde* com apenas três danos, como na formulação anterior.

O autor recomenda a execução de ensaios durante a inspeção, dado que certas estruturas necessitam de avaliação mais detalhada, a destacar o cobrimento de armações, a profundidade de carbonatação e a presença de cloretos.

A *Tabela 2-15* exprime os resultados enunciados para as edificações avaliadas por Lopes (1998).

Tabela 2-15 Resultados apresentados para os edifícios inspecionados (LOPES, 1998)

Prédio (UF)	RS	SP	RJ i	RJ ii	BA	DF
Área construída (m <sup>2</sup> )	11.399	31.090	56.679	10.966	27.577	24.979
Índice de degradação	0,1513	0,1304	0,3081	0,3859	0,3831	0,2139
Grau de dano acumulado	2.032	2.224	6.738	1.144	8.706	2.753
Grau de deterioração da estrutura	48	39	59	42	120	50
Nível de deterioração da estrutura	Alto	Médio	Alto	Alto	Crítico	Alto

A aplicação da metodologia GDE/UnB junto às alterações realizadas pelo autor mostrou-se eficiente na caracterização do grau de deterioração dos edifícios inspecionados. Além disso, a GDE/UnB pode ser instrumento para a recomendação de ações e planos de manutenção às edificações avaliadas.

### 2.3.3. BOLDO (2002)

O autor utilizou a metodologia de avaliação GDE/UnB de Castro (1994) para avaliação de 40 edificações do exército brasileiro. As inspeções foram realizadas por técnicos de órgãos do exército sob supervisão do autor do estudo. Como resultado, as avaliações apresentaram um bom panorama do estado de conservação das edificações do exército para o ano em estudo (2002), sendo as edificações, em sua maioria, encontradas com pouca deterioração na estrutura.

No processo de avaliação, o nome “Caderno de Inspeção para Estruturas de Concreto” foi alterado para “Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto”, objeto de uso rigoroso durante as inspeções. Com o objetivo de uniformizar a inspeção, houve o incremento de informações no roteiro, a exemplo da inserção de imagens das manifestações patológicas.

Mudanças foram propostas em relação aos danos e às famílias das estruturas. Em relação a isso, adicionou-se o dano “Sinal de Esmagamento” com fator de ponderação igual a 8 ( $Fp = 8$ ) nos elementos de vigas e escadas/rampas. Para elementos de blocos de fundação e elementos de composição arquitetônica o fator de ponderação atribuído a esse dano foi de 10 ( $Fp = 10$ ).

Em segmento, a presença de “Eflorescência” nas lajes teve valor de ponderação alterado de 3 para 5, evidenciando a importância desse sintoma. Os elementos identificados como junta de dilatação passaram a ter somente os danos de “Infiltração” e “Obstrução da Junta”, ambos com máximo fator de ponderação ( $Fp = 10$ ). O dano “Ligação Deficiente à Estrutura” foi suprimido do método aplicado, devido à planilha de elementos de composição arquitetônica.

O dano “Mancha” apresentou as seguintes mudanças: três fatores de intensidade diferentes, sendo levada em consideração a área que atinge a superfície do concreto, medida em porcentagem; o fator de relevância estrutural para o elemento de junta de dilatação passou a ser igual a 3.

Em relação aos equacionamentos da metodologia, o autor adotou o mesmo cálculo de  $Gde$  proposto por Lopes (1998). O grau de deterioração da família foi alterado pelo autor, de acordo aos preceitos da proposição de alteração de Lopes (1998), a ressaltar os elementos de piores condições. Para o cálculo de  $Gdf$  utilizou-se somente os  $Gde$  maiores que 15, sendo os menores que 15 considerado igual a zero. Segue equação proposta por Boldo (2002) para o cálculo do grau de deterioração da família:

$$G_{df} = G_{demáx} \cdot \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{demáx}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}} \right) \quad \text{Equação 2.14}$$

Onde,

$m$  o número de elementos com  $G_{de} \geq 15$ ;

$G_{de(i)}$  o grau de deterioração do elemento de ordem (i);

$G_{demáx}$  o maior grau de deterioração do elemento, entre os elementos com  $G_{de} \geq 15$ .

Boldo (2002) estipula a frequência de inspeções em um ano, três anos e cinco anos após a entrega da obra. E considera os custos dos reparos de 35%, 65% e 82%, respectivamente, no valor da obra.

Nas *Tabelas 2-16 e 2-17* temos a nova classificação proposta por Boldo (2002) para os níveis de deterioração do elemento e da estrutura, respectivamente, com intuito de ampliar o entendimento das medidas a serem desenvolvidas.

Tabela 2-16 Classificação dos níveis de deterioração de elemento (BOLDO, 2002)

Nível de deterioração	$G_{de}$	Medidas a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 ano).
Crítico	> 80	Inspeção especializada emergencial. Planejar intervenção imediata.

Tabela 2-17 Classificação dos níveis de deterioração da estrutura (BOLDO, 2002)

Nível de deterioração	$G_d$	Medidas a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 40	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 2 anos).
Alto	40 - 60	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 ano).
Crítico	> 60	Inspeção especializada emergencial. Planejar intervenção imediata.

Boldo (2002) também elaborou uma tabela estipulando prazos máximos para execução de intervenções para cada nível classificação da deterioração da estrutura, conforme *Tabela 2-18*.



Tabela 2-18 Prazo máximo para intervenção (BOLDO, 2002)

Nível de deterioração	Prazo máximo para intervenção
Baixo	-
Médio	2 anos
Alto	1 ano
Crítico	6 meses

Para obter uma avaliação das alterações do método com relação ao original, Boldo (2002) aplicou essas modificações na análise do Hospital Geral de São Paulo. O autor observou que os valores de *Gde* encontrados foram semelhantes, apresentando maiores divergências quando existiam mais de 2 danos nos elementos. No entanto, no cálculo de *Gdf* houve diferenças significativas, devido ao fato que o maior *Gde* passar ter sido ressaltado na análise. Essa mudança destaca uma intervenção em menor prazo.

#### 2.3.4. FONSECA (2007)

O autor fez uso da metodologia GDE/UnB para avaliar o grau de deterioração estrutural do Instituto Central de Ciências (ICC), principal edificação da Universidade de Brasília. Algumas alterações foram propostas em relação ao escopo da época.

A exemplo, pode-se elencar as alterações para os danos de carbonatação, contaminação por cloretos e cobertura deficiente, modificadas no roteiro de inspeção, de modo que é considerada a possibilidade desses danos promoverem a corrosão de armaduras. Esses danos foram alterados por referência à norma NBR 6118/2003. A *Tabela 2-20* expõe as alterações e fatores de intensidade para os danos que envolvem a corrosão de armaduras.

Tabela 2-19 Reformulação de fatores de intensidade relacionados à corrosão (FONSECA, 2007)

Dano	F <sub>i</sub>
Carbonatação atingindo a armadura (presença de umidade)	3 e 4
Cobertura deficiente com exposição de armadura	2 e 3
Contaminação por cloretos sem umidade - elementos interiores/exteriores	2 e 3
Contaminação por cloretos com presença de umidade	4
Deslocamento com exposição de armadura	3 e 4
Eflorescência em estágio avançado - estalactites ou crostas de carbonato de cálcio	4
Falha de concretagem	3 e 4

A “Esfoliação” passou a se chamar “Desplacamento”, com fito em evitar a confusão entre o processo de desagregação. O dano “Segregação” foi modificado para “Falha de concretagem”. Em segmento, os danos “Infiltração” e “Infiltração na Base” alterados para “Umidade” e “Umidade na Base”, apontando a penetração ou presença dos fenômenos nos elementos estruturais. Por fim, os danos “Manchas” e “Umidade” foram incluídos na lista de danos possíveis nos elementos de composição arquitetônica.

O autor notou que a maioria dos fatores de ponderação estavam com o valor acima de 5, de modo que os alterou de escala de 0 a 10 para 1 a 5. Para tanto, segue reformulação proposta para calcular o grau de dano ( $D$ ):

$$D = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p \quad \text{para } F_i \leq 2 \quad \text{Equação 2.15}$$

$$D = (12 \cdot F_i - 28) \cdot F_p \quad \text{para } F_i \geq 3 \quad \text{Equação 2.16}$$

O fator de ponderação da corrosão passou a ser  $F_p = 5$ , o da contaminação por cloretos a ser  $F_p = 4$ , enquanto o da carbonatação com  $F_p = 3$ . Isso se deve a nova escala de valores e em consideração a relação entre danos.

O dano de fissuras passou a ter fator de ponderação variável conforme tipo de fissura atuante, ainda que a origem da fissura seja estrutural ou estética. O  $F_p$  para esse dano está no intervalo de 2 a 5, sendo os de 4 e 5 com risco de ruptura frágil. As *Tabelas 2-20, 2-21 e 2-22* representam os tipos de fissuras mais comuns junto aos seus respectivos fatores de ponderação. Essas formulações foram implementadas no Roteiro de Inspeção.

Tabela 2-20 Tipologia de fissuras de concreto armado - Estado Plástico (FONSECA, 2007)

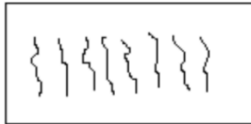

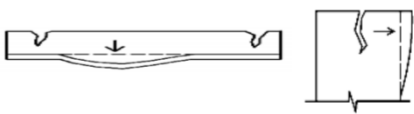
	<b>Fissuras</b>	<b>Descrição</b>	<b>Croquis</b>	<b><math>F_p</math></b>
<b>ESTADO PLÁSTICO</b>	de retração plástica do concreto	- comuns em lajes e paredes - paralelas, superficiais e afastadas de 0,3 a 1 m.		2
	de assentamento do concreto	- acompanham as armaduras - em pilares, ficam abaixo dos estribos; - interagem com armaduras vizinhas		3
	de movimentação de fôrmas	- indicam mau posicionamento, má fixação ou resistência insuficiente de fôrmas e escoramentos		3

Tabela 2-21 Tipologia de fissuras de concreto armado - Estado Endurecido (FONSECA, 2007)

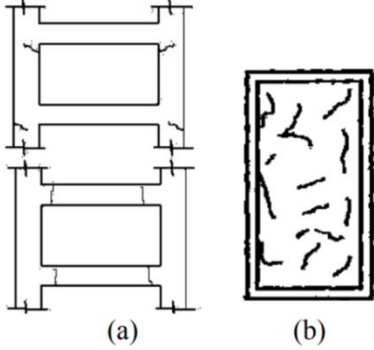
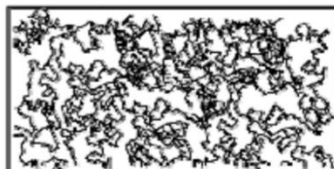
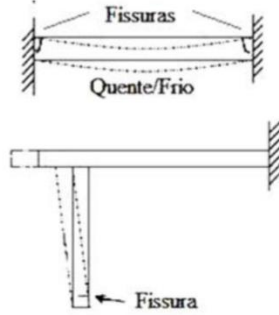

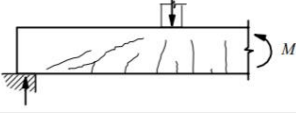
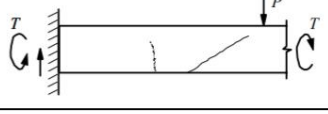
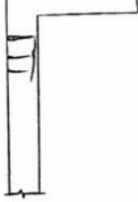
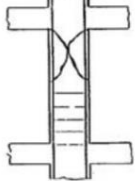
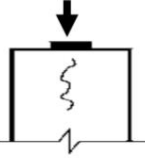
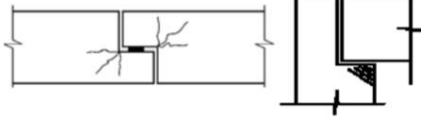



<b>ESTADO ENDURECIDO</b>	de retração do concreto por secagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vigas podem ocasionar fissuras nos pilares e vice-versa, por diferenças de rigidez (a)</li> <li>- aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b)</li> <li>- indicam restrição de movimentos</li> <li>- profundidade reduzida</li> <li>- aberturas de 0,1 a 0,2 mm</li> </ul>	 <p style="text-align: center;">(a)                      (b)</p>	3
	mapeadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes</li> <li>- abertura e extensão reduzidas</li> <li>- indicam desempenho excessivo.</li> <li>- danos apenas estéticos, em geral</li> </ul>		2
	de variações de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- em geral, normais ao eixo de elementos lineares</li> <li>- indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação e/ou sua inexistência</li> </ul>		3

Tabela 2-22 Tipologia de fissuras de concreto armado – Erros de projeto/execução ou cargas excessivas (FONSECA, 2007)

	<b>Fissuras</b>	<b>Descrição</b>	<b>Croquis</b>	<b><math>F_p</math></b>
ERROS DE PROJETO/ EXECUCAO OU CARGAS EXCESSIVAS	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 pontes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos - indicam armadura deficiente de fretagem e mau detalhamento		3
	em apoios do tipo gerber (vigas e pilares)	- comuns em pontes 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 bordos 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

Fonseca (2007) sugeriu a adição de mais um nível de classificação da estrutura, por conseguinte uma nova intervenção a ser realizada, tanto para o elemento quanto para a estrutura como um todo. Esta adição foi baseada na norma DNIT 010 – PRO (2004), que utiliza cinco níveis de deterioração. A *Tabela 2-23* ilustra o quadro de classificação já com as alterações feitas por Fonseca (2007).

Tabela 2-23 Classificação de níveis de deterioração de elemento e estrutura reformulados (FONSECA, 2007)

Nível de deterioração	$G_{de} / G_d$	Medidas a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especializada emergencial. Planejar intervenção imediata.

De mesmo modo, o cálculo do grau de deterioração da família de elementos também sofreu alteração. Isso se deu devido ao fato de o autor considerar que o equacionamento vigente superestima o estado real de um elemento em estado crítico, notadamente maior quando se tem muitos elementos na estrutura. Segue a formulação da nova equação proposta, conforme *Equação 2.17*:

$$G_{df} = G_{demáx} \cdot \left( \sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{demáx}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}}} \right) \quad \text{Equação 2.17}$$

Onde,

$m$  o número de elementos com  $G_{de} \geq 15$ ;

$G_{de(i)}$  o grau de deterioração do elemento de ordem (i);

$G_{demáx}$  o maior grau de deterioração do elemento, entre os elementos com  $G_{de} \geq 15$ .

A Tabela 2-24 apresenta os resultados encontrados após as alterações propostas, sendo o edifício dividido entre alas e blocos.

Tabela 2-24 Resultados da metodologia GDE/UnB após alterações (FONSECA, 2007)

Famílias (fissuras com $F_p=3$ )	$G_{df}$	$F_r$	$G_{df} \cdot F_r$
Pilares Bloco AL Ala Norte	137	5	688
Pilares Bloco AL Ala Central	65	5	327
Pilares Bloco AL Ala Sul	53	5	267
Pilares Bloco AO Ala Norte	60	5	303
Pilares Bloco AO Ala Central	114	5	573
Pilares Bloco AO Ala Sul	133	5	669
Pilares Bloco BL Ala Norte	130	5	651
Pilares Bloco BL Ala central	63	5	316
Pilares Bloco BL Ala Sul	63	5	317
Pilares Bloco BO Ala Norte	120	5	603
Pilares Bloco BO Ala Central	144	5	721
Pilares Bloco BO Ala Sul	116	5	581
Vigas Transversais de Cobertura Bloco A Ala Norte	144	5	722
Vigas Transversais de Cobertura Bloco A Ala Central	128	5	644
Vigas Transversais de Cobertura Bloco A Ala Sul	110	5	550
Vigas Transversais de Cobertura Bloco B Ala Norte	64	5	324
Vigas Transversais de Cobertura Bloco B Ala Central	122	5	611
Vigas Transversais de Cobertura Bloco B Ala Sul	110	5	554
Elementos Curvos Bloco A Ala Norte	101	2	202
Elementos Curvos Bloco A Ala Central	0	2	0
Elementos Curvos Bloco A Ala Sul	26	2	53
Elementos Curvos Bloco B Ala Norte	67	2	134
Elementos Curvos Bloco B Ala Central	132	2	264
Elementos Curvos Bloco B Ala Sul	15	2	30
<b>Total</b>		102	10114
<b><math>G_d=</math></b>		99	<b>Sofrível</b>

Conforme exposto acima, o resultado final indica um estado sofrível de deterioração para a edificação. Segundo a metodologia, é necessária intervenção no prazo máximo de 6 meses. O autor concluiu que avaliação é condizente com a realidade estrutural do Instituto Central de Ciências (ICC).

### 2.3.5. EUQUERES (2011)

Euqeres (2011) dedicou-se a aplicar a metodologia GDE/UnB a pontes de concreto armado. Para tanto, o autor utilizou a metodologia atualizada à época por Fonseca (2007), com as adaptações necessárias à aplicação nessas estruturas.

A avaliação foi proposta aos seguintes elementos: pilares, vigas, laje, barreiras de defesa ou guarda-corpos, cortinas, blocos de fundação, pista de rolagem, juntas de dilatação e aparelhos de apoio.

Os fatores de relevância  $F_p$  empregados foram adaptados:

- Barreiras de defesa  $F_r = 1,0$
- Pista de rolamento  $F_r = 2,0$
- Cortinas e juntas de dilatação  $F_r = 3,0$
- Lajes, fundações, aparelho de apoio e vigas secundárias  $F_r = 4,0$
- Vigas principais e pilares  $F_r = 5,0$

Nova classificação em níveis de deterioração estrutural foi desenvolvida, bem como os prazos de intervenção para manutenção alterados. A *Tabela 2-25* apresenta a classificação de níveis atualizada.

Tabela 2-25: Classificação de níveis de deterioração adaptado para pontes (EUQUERES, 2011)

Nível de deterioração	$G_{de} / G_d$	Medidas a serem adotadas
Baixo	$\leq 15$	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	16 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	51 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 18 meses).
Sofrível	81 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 ano).
Crítico	$> 101$	Inspeção especializada emergencial. Planejar intervenção imediata.

O estudo teve como objetivo a validação da metodologia GDE/UnB para pontes de concreto armado, tendo como edificação a ponte sobre o Rio Piracanjuba – GO. No cálculo, foram considerados os  $G_{de}$  acima de 15. Como resultado, apenas a família de lajes se encontrou acima desse valor, com  $G_d = 33,60$ . Este grau evidencia um estado médio de deterioração, sendo recomendada uma intervenção no prazo máximo de 2 anos. Para o cálculo

considerando todos os valores de  $Gde > 0$ , foi obtido o valor de  $Gd = 17,06$ , tendo por classificação o nível médio de deterioração. Ao final, o autor optou por adotar todos os valores de  $Gde > 15$ , permitindo a inclusão de todos os valores dos elementos.

O trabalho se estendeu para mais 11 pontes do estado de Goiás. Entre as pontes avaliadas, as estruturas se situavam entre a classificação média e alta de deterioração. Apesar da limitação de avaliação para pontes com comprimento maior que 70 metros, Euqueres (2011) demonstrou a eficiência do método por meio das inspeções visuais.

### **2.3.6. SANTIAGO & AZEVEDO (2012)**

O autor promoveu a avaliação dos viadutos do Eixo Rodoviário Norte de Brasília. Conforme exposto neste trabalho, Pavoni (2019) avaliou novamente essas obras, de modo a realizar o estudo comparativo entre as abordagens da metodologia realizadas nos anos de 2012 e 2019.

O trabalho de Santiago & Azevedo (2012) consiste na aplicação da metodologia GDE/UnB com a adaptação para aplicação em Obras de Arte Especiais segundo o disposto por Euqueres (2011).

De acordo a esses autores, não seria necessária a utilização do fator de ponderação máximo ( $F_p=5$ ) ao elemento “Pista de Rolamento”. Segue a proposta apresentada pelo trabalho para o fator de ponderação ( $F_p$ ) no elemento “Pista de Rolamento”:

- Descontinuidades –  $F_p = 3$  ;
- Desgaste da Sinalização –  $F_p = 3$  ;
- Desgaste Superficial –  $F_p = 4$  .

Os viadutos do Eixo Rodoviário são divididos em: Viaduto Central – Eixo Rodoviário, Viaduto L – Eixo L e Viaduto W – Eixo W. Para cada viaduto foram considerados os elementos: barreiras de defesa, laje, pista e cortinas; com intuito de avaliar e calcular os parâmetros necessários para obtenção do grau de deterioração geral de cada edificação.

De acordo à metodologia proposta por Castro (1994), os autores adotaram no cálculo somente os valores de  $G_{de} \geq 15$ . Essa consideração levou a resultados de grau de deterioração nulo para alguns elementos dos viadutos avaliados. Isso exprime incongruência entre a realidade



exposta na estrutura e o grau de deterioração obtido. A *Tabela 2-26* contém os resultados do trabalho.

Tabela 2-26: Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB – Eixo Rodoviário Norte (SANTIAGO & AZEVEDO, 2012)

Quadra	Viaduto	$G_d$	Nível de Deterioração	Quadra	Viaduto	$G_d$	Nível de Deterioração
01/02	W	37,04	Médio	09/10	W	36,00	Médio
	C	29,64	Médio		Eixão	0,00	Baixo
	L	37,04	Médio		L	54,36	Alto
03/04	W	49,63	Médio	11/12	W	36,57	Médio
	Eixão	27,43	Médio		Eixão	57,13	Alto
	L	55,87	Alto		L	0,00	Baixo
05/06	W	61,49	Alto	13/14	W	28,71	Médio
	Eixão	50,06	Alto		Eixão	0,00	Baixo
	L	68,45	Alto		L	56,80	Alto
07/08	W	59,84	Alto	15/16	W	28,71	Médio
	Eixão	53,95	Alto		Eixão	0,00	Baixo
	L	54,36	Alto		L	56,80	Alto

Santiago & Azevedo (2012) expuseram que os resultados obtidos pela metodologia GDE/UnB foram representativos em relação ao verdadeiro estado dos viadutos do Eixo Rodoviário Norte de Brasília. Valores de grau de deterioração de elementos nulos não afetaram o resultado geral das análises. Segundo os autores, o aspecto geral dos viadutos foi considerado melhor do que o esperado em função da baixa frequência de manutenção.

### 2.3.7. ROSA (2014)

O escopo do trabalho foi comparar duas metodologias de inspeção para Obras de Arte Especiais, sendo elas: a metodologia GDE/UnB e a metodologia de inspeção rotineira para pontes de concreto armado e protendido proposta pelo DNIT.

Foram inspecionados 13 viadutos localizados em Brasília – DF tendo por objetivo analisar a viabilidade da utilização da metodologia GDE/UnB no Sistema de Gestão de Obras – SGO – do DNIT.

Para o estudo a metodologia GDE/UnB foi abordada de acordo às atualizações mais recentes e as respectivas adequações para OAEs propostas na literatura. O autor quantificou o resultado do grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ) considerando apenas os graus de deterioração de elementos ( $G_{de}$ ) maiores que 15.

Em um aspecto geral, a metodologia GDE/UnB propõe uma avaliação baseada no grau de deterioração estrutural por meio da inspeção das manifestações patológicas encontradas. De outro modo, a metodologia do DNIT tem como cerne avaliar as condições de estabilidade da estrutura, observados os danos em elementos padronizados. Rosa (2014) explana que essas diferenças resultam em valores mais conservadores pela metodologia GDE/UnB.

Tabela 2-27: Resultados das metodologias SGO/DNIT E GDE/UnB (ROSA, 2014)

Viaduto	DNIT	GDE/UnB	
	(Nota Técnica)	G <sub>d</sub>	Nível de Deterioração
1	3	29,90	Médio
2	3	29,96	Médio
3	3	58,70	Alto
4	3	39,83	Médio
5	3	31,80	Médio
6	3	30,20	Médio
7	3	96,90	Sofrível
8	2	108,20	Crítico
9	2	108,60	Crítico
10	2	134,10	Crítico
11	3	42,30	Médio
12	3	41,50	Médio
13	2	81,90	Sofrível

O autor ressaltou a dificuldade no estabelecimento de um padrão de inspeção pela metodologia do DNIT. Essa barreira se deve à ausência de material complementar ao auxílio na determinação dos fatores de intensidade, quando comparado aos disponíveis na metodologia GDE/UNB. Em suma, Rosa (2014) concluiu que a metodologia DNIT se apresenta mais suscetível à subjetividade do avaliador. A conclusão de seu estudo corrobora para a validade da metodologia GDE/UNB como mecanismo de avaliação para pontes e viadutos de concreto armado.

### **3. METODOLOGIA**

O objetivo central do trabalho é a aplicação da metodologia GDE/UnB na inspeção e avaliação de Obras de Arte Especiais do Distrito Federal. Por essa ótica, o desenvolvimento metodológico do estudo foi baseado nas revisões atuais da metodologia, evidenciadas ao longo do capítulo 2 da dissertação.

#### **3.1. ABORDAGEM DA METODOLOGIA GDE/UNB**

A metodologia GDE/UnB foi aplicada nas suas últimas revisões e adaptações da literatura técnica, levando em conta o Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (VERLY, 2015). As análises foram realizadas por meio de inspeções visuais, além de registros fotográficos das manifestações patológicas encontradas. Em segmento às atualizações mais recentes propostas, o dano de abrasão indicado por Lauria (2018) foi adicionado às análises por se tratar de um sintoma recorrente nas obras inspecionadas. De mesmo modo, foram desconsiderados os danos de carbonatação e contaminação por cloretos nas estruturas de concreto avaliadas em função da necessidade de coleta para a avaliação desses fenômenos.

Os cálculos foram realizados a partir das equações 2.15 e 2.16 para a definição do Grau de Dano (D) em cada caso. O Grau de Deterioração do Elemento (Gde) foi calculado em acordo à equação 2.13. Em relação ao Grau de Deterioração da Família (Gdf), têm-se a equação 2.17. Por fim, o Grau de Deterioração Estrutural (Gd) da obra analisada é dado pela equação 2.12. A *Tabela 3-1* apresenta as equações, formulações e suas respectivas referências, ordenadas na sequência de cálculo indicada pela metodologia.

Tabela 3-1 Resumo equações Metodologia GDE/UnB

Índice	Descrição	Formulação	Referência
2.15	Grau de Dano (D)	$D = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p$ para $F_i \leq 2$	FONSECA (2007)
2.16		$D = (12 \cdot F_i - 28) \cdot F_p$ para $F_i \geq 3$	
2.13	Grau de Deterioração do Elemento (Gde)	$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \cdot \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_{(i)} - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m D_{(i)}} \right)$	LOPES (1998)
2.17	Grau de Deterioração da Família (Gdf)	$G_{df} = G_{de\acute{m}\acute{a}x} \cdot \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{de\acute{m}\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}} \right)$	FONSECA (2007)
2.12	Grau de Deterioração da Estrutura (Gd)	$G_{d,mod} = \frac{K_{m\acute{a}x}}{7,07} \cdot \sqrt{1 + \frac{\left( \sum_{i=1}^k K_i \right) - K_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^k K_i}}$	VERLY (2015)

Os fatores de relevância estrutural propostos na ficha de inspeção indicada por Lauria (2018) foram replicados na execução deste trabalho. Dessa forma, estão presentes na ficha os elementos pilares, pilares-parede, longarinas, transversinas, excluído o elemento pista de rolamento. Em caso de inclusão de novos elementos, os fatores de relevância seguiram a sugestão de Verly (2015). Seguem os valores atribuídos para cada uma das famílias.

- Guarda-rodas  $F_r = 1$
- Pista de Rolamento  $F_r = 2$
- Cortina, Contenção, Transversina  $F_r = 3$
- Tabuleiro  $F_r = 4$
- Pilar, Pilar-Parede, Longarina  $F_r = 5$

Em virtude da variedade arquitetônica das OAEs vistoriadas, se mostrou necessária a divisão das edificações em grupamentos de análise, a fim da melhor representação dessas subdivisões em relação à totalidade da estrutura. Assim como as porções de análise sugeridas por Lauria (2018) e Pavoni (2019), o método de separação empregado neste estudo se baseia na determinação de referências cardeais para identificação das subdivisões dos elementos estruturais.

A análise da metodologia GDE/UnB prosseguiu de acordo às considerações anteriores. Ao final das avaliações, são obtidos dois valores de Grau de Deterioração da Estrutura –  $G_d^*$  e  $G_d$ . De modo semelhante a trabalhos anteriores,  $G_d^*$  considera somente os elementos com  $G_{de}$  maiores que 15 no cálculo final, enquanto  $G_d$  engloba todos os valores destacados para os elementos da estrutura.

### **3.2. VIADUTOS SELECIONADOS PARA INSPEÇÃO**

O escopo deste trabalho é a inspeção e análise de um grupo de OAEs composto por 30 unidades localizadas em diferentes regiões do Distrito Federal. O lote avaliado nesse estudo é integrante de um conjunto formado por 179 OAEs inspecionadas por 5 alunos da Universidade de Brasília utilizando a metodologia GDE/UnB. Para facilitar a identificação das OAEs pelo mapa do DF foi criada uma malha de 10 x 10, originando 100 quadrados iguais, conforme ilustrado na *Figura 3-1*.

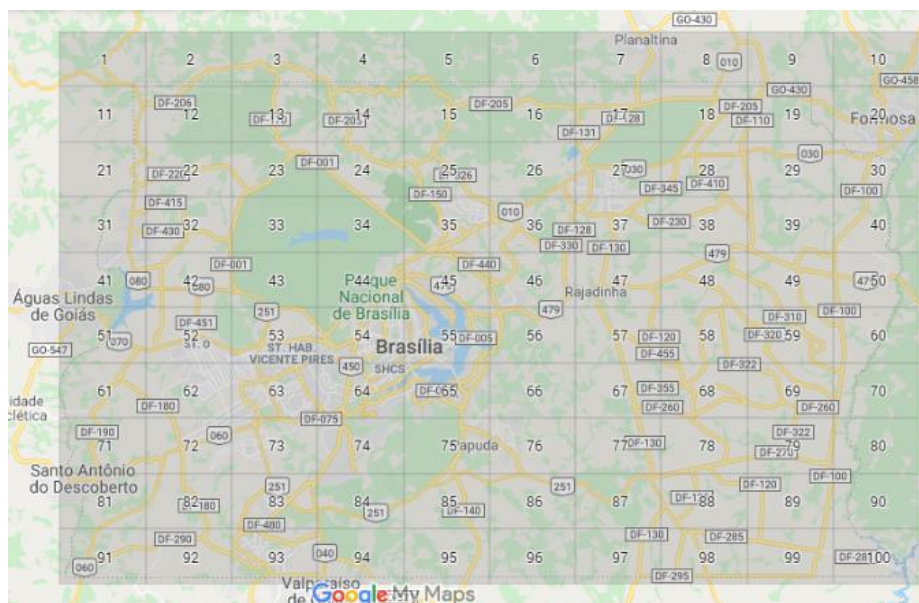


Figura 3-1 Divisão Distrito Federal Malha 10 x 10  
(Retirado do *Google Maps*)

A nomenclatura adotada para cada OAE também leva em conta a localização geográfica, correspondendo ao formato “AAA\_BBB\_CC\_DD\_E”, onde:

- AAA = Número da Malha;
- BBB = São os 2º, 3º e 4º dígitos da longitude – para ordenar dentro da malha da esquerda para direita;
- CC = São os 2 últimos dígitos da longitude – insere a precisão necessária para distinguir pontos próximos horizontalmente;
- DD = São os 2 últimos dígitos da latitude – insere a precisão necessária para distinguir os pontos próximos verticalmente;
- E = Identifica o tipo de OAE, sendo “P” para Pontes e “V” para Viadutos.

A *Figura 3-2* ilustra o mapa esquemático com as OAEs destinadas à avaliação do grupo de alunos. É evidente que há dezenas de OAEs na região, representadas em cinza, que não foram contempladas na divisão, constituindo acervo para inspeções futuras. Os pontos em amarelo e verde escuro referem-se às OAEs contempladas no Lote 04 discutido neste trabalho.

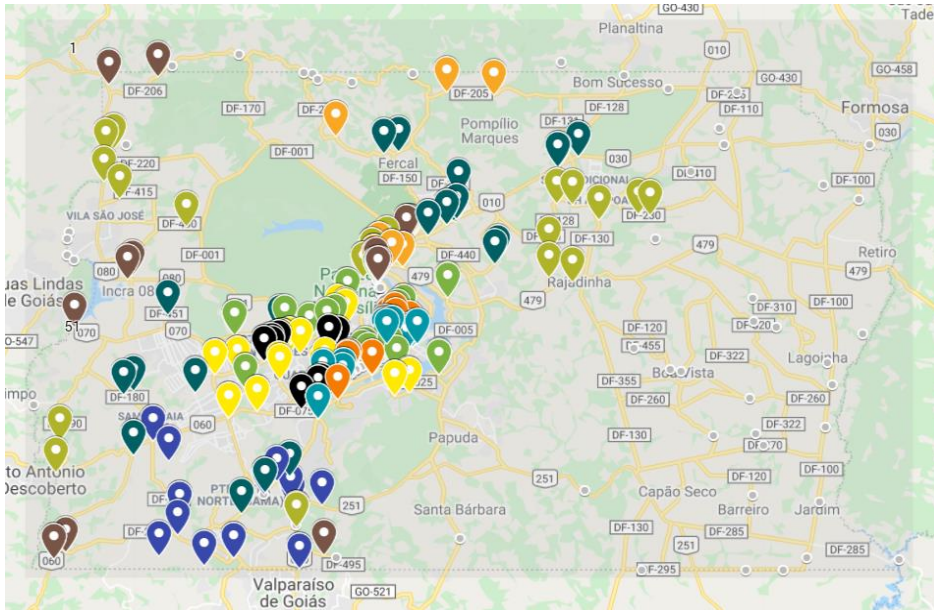


Figura 3-2 Mapa do Distrito Federal com todas as divisões das OAEs  
(Retirado do Google Maps)

Na Figura 3-3, há um recorte do mecanismo de mapeamento utilizado na plataforma *Google My Maps* contemplando as informações de cada ponto destinado aos avaliadores junto à localização dos viadutos e pontes a serem avaliados. Essa ferramenta se mostrou útil para a organização e controle dos pontos mapeados.

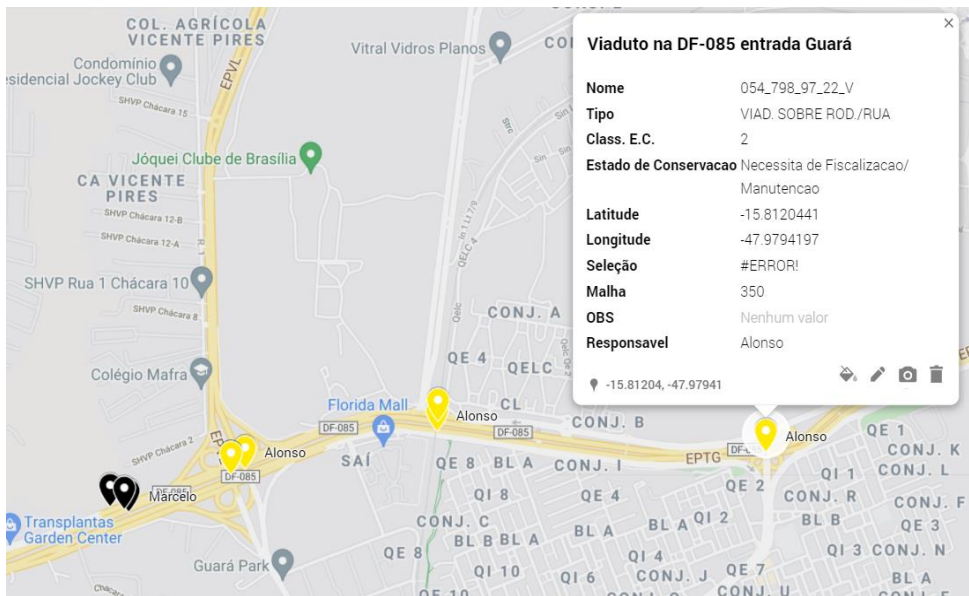


Figura 3-3 Distribuição de pontos na ferramenta Google My Maps  
(Retirado do Google My Maps)

O Lote 04 composto por 30 viadutos foi inspecionado em sua totalidade. A fim de uma exposição mais sucinta da aplicação da metodologia no contexto do Distrito Federal, serão abordados os viadutos que obtiveram o menor, o valor médio e o maior valor para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ).

### **3.3. PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO**

Com o objetivo de promover a correta aplicação da metodologia por todos os constituintes do grupo de alunos responsáveis pelas inspeções, houve o treinamento dos integrantes pela Eng<sup>a</sup> Maria Luisa Lauria, autora do trabalho de avaliação dos viadutos do eixo rodoviário sul de Brasília pela metodologia GDE/UnB desenvolvido em 2018. Além do treinamento promovido, as inspeções iniciais foram realizadas em conjunto, a fim de propiciar discussões acerca das manifestações patológicas encontradas nas OAEs e dos fatores de intensidade mais condizentes à realidade apresentada. Dessa forma, foi possível diminuir a subjetividade do avaliador, de modo a tornar as inspeções realizadas pelo grupo padronizadas.

As inspeções visuais foram executadas por ao menos duas pessoas, uma delas responsável pelo preenchimento da ficha de inspeção dos danos encontrados em cada elemento das OAEs e outro indivíduo responsável pelo registro fotográfico, com objetivo de formar um banco de imagens facilitador à visualização e à reavaliação dos danos posteriormente.

As datas de inspeção foram definidas conforme a disponibilidade dos responsáveis pela análise, priorizando os fins de semanas pelo turno da manhã. Horários e dias escolhidos no intuito de garantir condições de avaliação seguras aos avaliadores.

Todas as inspeções foram realizadas com a utilização de capacetes, botas e coletes refletivos, em atendimento à segurança do trabalho. A ficha de inspeção foi impressa e apoiada em prancheta para identificação, quantificação e análise das manifestações patológicas encontradas. Utilizou-se câmera fotográfica digital para registrar e catalogar os danos evidenciados em cada viaduto inspecionado.



## 4. RESULTADOS

Os resultados gerais encontrados para os estados de deterioração estrutural das 30 Obras de Arte Especiais representativas do Lote 04 de inspeções estão representados na *Tabela 4-1*, dispostos os valores de  $G_d$  e  $G_d^*$ . O primeiro valor considera todos os valores de  $G_{de}$ , enquanto o segundo considera somente os elementos de  $G_{de} \geq 15$  no cálculo final da estrutura.

Tabela 4-1 Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB em viadutos do Lote 04 – Brasília, DF

OAEs	Descrição	Gd	Gd*	Gd - Gd*	Avaliação
035_780_90_63_V	Viaduto 1 entrada Sobradinho	23,19	15,28	5,91	Médio
035_780_95_41_V	Viaduto 2 entrada Sobradinho	22,39	15,28	7,11	Médio
035_781_74_63_V	Viaduto 2 Setor Boa Vista - Sobradinho	6,82	0	6,82	Baixo
035_781_76_25_V	Viaduto 1 Setor Boa Vista - Sobradinho	6,96	0	6,96	Baixo
035_783_11_78_V	Viaduto 2 entrada Cond. Império dos Nobres	24,16	20,89	3,41	Médio
035_783_31_55_V	Viaduto 1 entrada Cond. Império dos Nobres	24,30	20,89	3,27	Médio
053_799_84_62_V	Viaduto 2 sob a DF085-DF087 Bernardo Sayão	14,72	13,88	0,84	Baixo
053_800_33_85_V	Viaduto entrada Jockey Club	11,24	6,09	5,15	Baixo
054_792_20_14_V	Viaduto sob o Eixo Monumental próx. à catedral militar 1	52,85	51,66	1,19	Alto
054_792_64_07_V	Viaduto sob o Eixo Monumental próx. à catedral militar 2	77,66	77,47	0,19	Alto
054_793_51_24_V	Viaduto sobre DF003 - Eixo Monumental/Taguatinga	26,52	24,48	2,04	Médio
054_798_97_22_V	Viaduto na DF-085 entrada Guará	55,56	54,22	1,34	Alto
063_800_13_04_V	Viaduto na DF-079 sobre Rod. (Metrô Águas Claras)	6,98	0	6,98	Baixo
063_805_11_60_V	Viaduto Tag. Centro – sentido Ceilândia	22,78	18,67	4,11	Médio
063_805_35_84_V	Viaduto Tag. Centro – sentido EPTG	23,09	18,67	4,42	Médio
063_807_60_71_V	Viaduto Ceilândia/Samambaia – sentido Ceilândia	19,13	17,66	1,47	Médio
063_807_69_68_V	Viaduto Ceilândia/Samambaia – sentido Taguatinga	19,28	17,66	1,62	Médio
064_792_68_36_V	Viaduto L4/L2 – sentido Taguatinga	49,99	48,15	1,84	Médio
064_795_02_44_V	Viaduto Metrô - Estação ParkShopping	70,13	67,55	2,58	Alto
064_795_54_86_V	Viaduto acesso ao Guará - Sentido ParkShopping	82,44	81,64	0,8	Sofrível
064_795_85_47_V	Viaduto acesso ao Guará - Sentido Zoológico	144,71	142,74	1,97	Crítico
073_802_27_14_V	Viaduto 1 na DF-001 sobre a DF-075 Riacho Fundo	40,57	39,2	1,37	Médio
073_802_27_22_V	Viaduto 1 na DF-001 sobre a DF-075 Taguatinga	32,47	31,44	1,03	Médio
073_806_75_98_V	Viad. sobre Rod./RUA BR-060 Sentido Gama	12,02	0	12,02	Baixo
073_806_10_42_V	Viad. sobre Rod./RUA BR-060 Sentido Samambaia	12,22	0	12,22	Baixo
083_799_99_97_V	Viaduto na DF-065 sobre a DF-003 próx. Catetinho	21,3	19,58	1,72	Médio
083_801_49_98_V	Viaduto do Periquito – Alça lateral Tag/Catetinho 1	7,32	0	7,32	Baixo
083_801_81_07_V	Viaduto do Periquito – Alça lateral Tag/Catetinho 2	7,97	0	7,97	Baixo
083_802_66_75_V	Viaduto do Periquito – sentido Ponte Alta	19,95	14,93	5,02	Médio
083_802_66_99_V	Viaduto Campus UnB Gama	21,26	16,93	4,33	Médio

Conforme os dados expostos na tabela, nota-se que há variações mais significativas entre  $G_d$  e  $G_d *$  quando as OAEs analisadas detêm todos os seus elementos com valores de  $G_{de}$  menores que 15, tornando o valor de  $G_d *$  igual a 0. No entanto, caso essa situação não seja verificada, as variações absolutas entre os resultados não impactaram a avaliação final da estrutura. Desse modo, o presente trabalho considerou a utilização do valor de  $G_d$  em sua totalidade como parâmetro eficaz de avaliação das OAEs do primeiro lote de estudo.

Nesse conjunto de vistorias foi possível abranger diferentes níveis de deterioração, desde um grau baixo até a constatação de nível crítico de avaliação estrutural. A *Figura 4-1* apresenta uma construção gráfica dos níveis resultantes das inspeções.

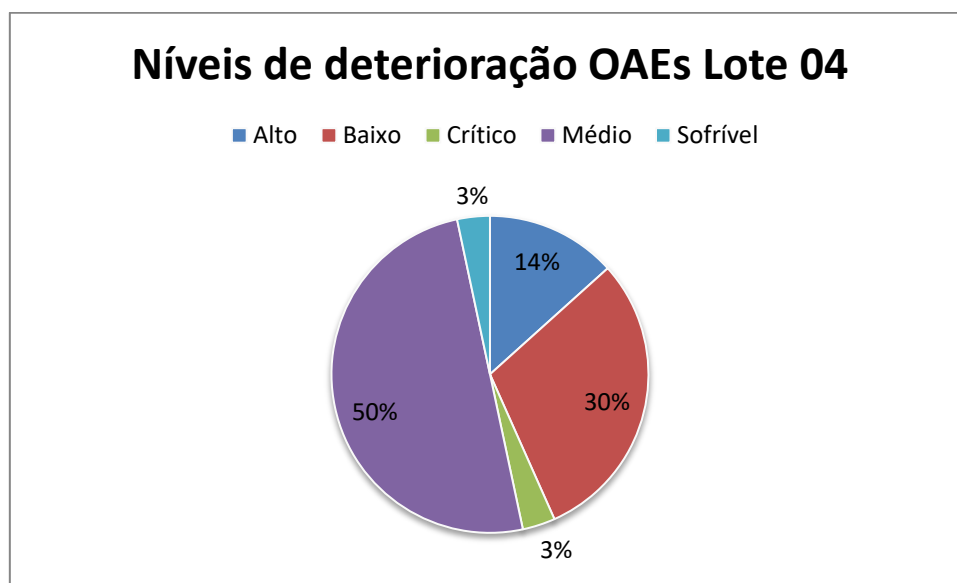


Figura 4-1 Gráfico com resultado das avaliações por nível – Lote 04

Conforme gráfico anterior, as OAEs avaliadas encontram-se, em maior número, no nível médio de deterioração, equivalendo a 50% do total. Para esses viadutos é recomendada manutenção em até 2 anos, conforme *Tabela 2-6* proposta por Verly (2015). Em seguida, tem-se que 30% do total se encontra no nível baixo de deterioração, sendo recomendada manutenção preventiva. Com o valor percentual de 14%, identifica-se o nível alto de deterioração de algumas edificações, para esses casos é estipulada manutenção em até 12 meses. Para o estado sofrível temos o valor de 3% do total, revelando a necessidade de manutenção em até 6 meses. Com indicativo de intervenção imediata, evidencia-se um valor de 3% do montante ao nível crítico de deterioração.

Como forma de exposição da metodologia GDE/UnB, propõe-se destacar nessa monografia os viadutos de menor, de médio e de maior nível de deterioração encontrados nas inspeções realizadas. Frente aos resultados, o viaduto 035\_781\_74\_63\_V - Viaduto 2 Setor Boa Vista – Sobradinho obteve o menor valor de Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), com valor igual a 6,82. O viaduto 083\_802\_66\_99\_V – Viaduto Campus UnB Gama, com  $G_d = 21,26$  representa uma análise de nível médio de deterioração. Enquanto o viaduto 064\_795\_85\_47\_V - Viaduto acesso ao Guará - Sentido Zoológico expôs o mais alto valor de deterioração encontrado, com  $G_d$  igual a 144,71. Frente ao exposto, os resultados detalhados dessas OAEs são discutidos em sequência.

#### **4.1. VIADUTO 2 SETOR BOA VISTA- 035\_781\_74\_63\_V**

O viaduto em análise é localizado na entrada do Setor Habitacional Boa Vista – Sobradinho/DF. Trata-se de uma edificação estruturalmente dividida em dois guarda rodas, aqui identificados pelas posições cardeais oeste (Guarda Rodas O) e leste (Guarda Rodas L) e um tabuleiro composto por longarinas, duas vigas travessas (Travessa norte (N) e Travessa sul (S)), as quais são apoiadas em uma dupla de pilares em somente uma das travessas da OAE. Na *Figura 4-2*, há um registro fotográfico do viaduto para facilitar a identificação dos elementos.



Figura 4-2 Fotografia Viaduto 2 Setor Boa Vista



Figura 4-3 Detalhe de elementos do Viaduto 2 Setor Boa Vista

As tabelas a seguir representam as fichas de preenchimento utilizadas para a inspeção de cada família de elemento. Nas listas são evidenciadas as manifestações patológicas, os fatores de ponderação, os fatores de intensidade atribuídos e a relevância estrutural de cada elemento. Por fim, temos o resultado do grau de deterioração de cada elemento ( $G_{de}$ ). As demais fichas podem ser consultadas no ANEXO.

Tabela 4-2 Grau de deterioração do Guarda Rodas Oeste viaduto 2 Setor Boa Vista

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
Guarda Rodas O	Fr = 1	Cobrimento deficiente	3		0	7,80
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Abrasão do Concreto	3	1	2,4	

Tabela 4-3 Grau de deterioração das Longarinas viaduto 2 Setor Boa Vista

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Longarinas</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3		0	8,16
		Corrosão de armaduras	5	1	4	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	1	1,6	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	2	4,8	
		Abrasão do concreto	3		0	

Tabela 4-4 Grau de deterioração da viga Travessa S Viaduto 2 Setor Boa Vista

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Travessa S</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3		0	6,40
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Manchas	3	1	2,4	
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

A partir dos valores de  $G_{de}$ , é possível calcular o grau de deterioração das famílias ( $G_{df}$ ), em seguida calcular o grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ). Na *Tabela 4-5* os resultados do Viaduto 2 Setor Boa Vista.

Tabela 4-5 Resultados obtidos para o Viaduto 2 Setor Boa Vista

Elemento	Grau de Deterioração do Elemento (Gde)	Grau de Deterioração da Família (Gdf)	Fator de Relevância (Fr)	Grau de Deterioração Estrutural (Gd)	Nível de Deterioração da Estrutura
<i>Guarda Rodas O</i>	7,80	9,55	1	<b>6,82</b>	<b>Baixo</b>
<i>Guarda Rodas L</i>	7,80				
<i>Longarinas</i>	8,16	8,16	4		
<i>Pilar 1</i>	0,00	0,00	5		
<i>Pilar 2</i>	0,00				
<i>Tabuleiro</i>	8,35	8,35	4		
<i>Travessa N</i>	3,60	7,46	5		
<i>Travessa S</i>	6,40				

É conveniente analisar em detalhes as estruturas com os maiores Fatores de Relevância (Fr), a exemplo das vigas longarinas e das travessas. Na inspeção foi possível observar o bom nível de conservação dessas estruturas, constatação expressa nos baixos níveis de  $G_{de}$  dessas vigas. A seguir são expostas fotografias desses objetos de avaliação.



Figura 4-4 Vigas longarinas do viaduto 2 Setor Boa Vista





Figura 4-5 Longarinas e viga travessa Sul do viaduto 2 Setor Boa Vista

Por meio da imagem, pode-se identificar pequenas manchas nessas estruturas que, no entanto, não exprimem grau elevado. Alinhado a isso, as vigas travessas do viaduto não detinham danos evidentes ou de alto grau, apenas leve aparecimento de manchas junto a pequenos pontos de abrasão do concreto. Dado o grau de deterioração deste viaduto, é recomendada manutenção preventiva conforme indicado por Verly (2015).

#### **4.2. VIADUTO CAMPUS UNB GAMA - 083\_802\_66\_99\_V**

O viaduto representativo para o nível médio de deterioração é localizado em frente ao Campus Gama da Universidade de Brasília. A edificação conecta as vias marginais às principais vias de acesso à cidade do Gama pela DF-480, com um volume de tráfego de cerca de 140 mil veículos por dia.



Figura 4-6 Viaduto Campus Gama UnB –

Fonte: Google Maps

O viaduto foi dividido em porções para facilitar a análise das diferentes estruturas componentes da OAE. Foi proposta a identificação das subdivisões por meio dos pontos cardeais, tomando como a região norte a porção mais à esquerda da imagem exposta acima. A seguir, resumo das subdivisões:

- Guarda-rodas leste e oeste;
- Cortinas norte e sul;
- Pilares norte e sul;
- Tabuleiros norte, central e sul.

Na sequência, há a exposição de algumas das manifestações patológicas encontradas, bem como as fichas de inspeção junto aos fatores de ponderação, os fatores de intensidade atribuídos às manifestações observadas e a relevância estrutural de cada elemento. Ao final, temos o resultado do grau de deterioração de cada elemento ( $G_{de}$ ). As demais fichas podem ser consultadas no ANEXO.





Figura 4-7 Detalhe Cortina Sul – Viaduto UnB Campus Gama

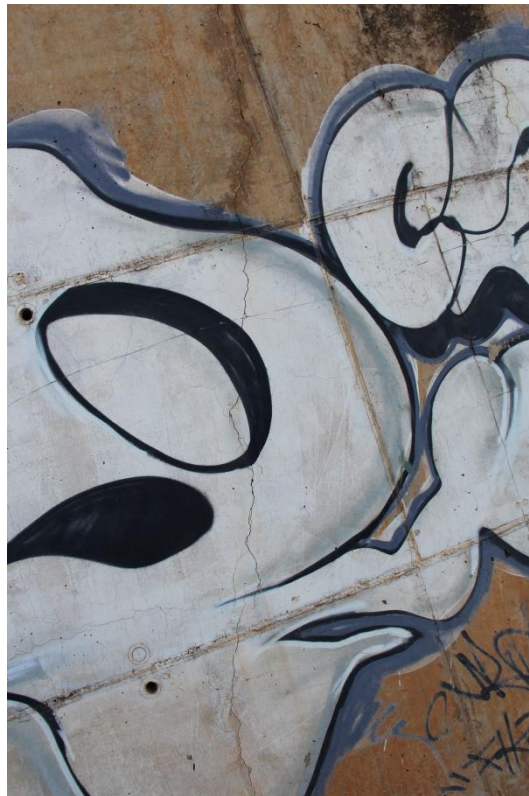


Figura 4-8 Fissuração Cortina Sul – Viaduto UnB Campus Gama



Figura 4-9 Fissuração Tabuleiro Norte – Viaduto UnB Campus Gama



Figura 4-10 Fissuração encontro Tabuleiros Central e Norte com o Pilar Sul – Viaduto UnB Campus Gama



Figura 4-11 Encontro Pilar Norte e Tabuleiro Central– Viaduto UnB Campus Gama

Por meio dos registros fotográficos, é possível perceber manchas, sinais de desagregação por percolação de água e fissuras na Cortina Sul do Viaduto UnB Campus Gama. De mesmo modo, há ocorrência de fissuração e leve surgimento de eflorescência nos tabuleiros da OAE. As fichas abaixo expressam os valores obtidos na inspeção.

Tabela 4-6 Grau de deterioração da Cortina Sul -Viaduto UnB Campus Gama

<i>Cortina S</i>	Et = 3	Cobrimento deficiente	3			25,04
		Corrosão de armaduras	5	1	4	
		Desagregação	3	1	2,4	
		Deslocamento por empuxo	5			
		Desplacamento	3			
		Desvio de geometria	3			
		Eflorescência	2			
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2	3	16	
		Infiltração de água	3	2	4,8	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4			
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

Tabela 4-7 Grau de deterioração do Pilar Norte - Viaduto UnB Campus Gama

<i>Pilar Parede N</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3			5,42
		Corrosão de armaduras	5			
		Desagregação	3			
		Deslocamento por empuxo	5			
		Deslocamento	3			
		Desvio de geometria	3			
		Eflorescência	2			
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	1	2,4	
		Sinais de Esmagamento	4			
		Abrasão do concreto	3	1	2,4	

Tabela 4-8 Grau de deterioração do Pilar Norte - Viaduto UnB Campus Gama

<i>Tabuleiro C</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3			12,36
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3			
		Deslocamento	3			
		Eflorescência	2	1	1,6	
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Flechas	5			
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	1	2,4	
		Abrasão do concreto	3			

A partir dos valores de  $G_{de}$ , é possível calcular o grau de deterioração das famílias ( $G_{df}$ ), em seguida calcular o grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ). A *Tabela 4-9* resume os resultados de todos os elementos do Viaduto UnB Campus Gama.

Tabela 4-9 Resultados obtidos para o Viaduto UnB Campus Gama

Elemento	Grau de Deterioração do Elemento (Gde)	Grau de Deterioração da Família (Gdf)	Fator de Relevância (Fr)	Grau de Deterioração Estrutural (Gd)	Nível de Deterioração da Estrutura
<i>Cortina N</i>	8,08	27,93	3	<b>21,26</b>	<b>Médio</b>
<i>Cortina S</i>	25,04				
<i>Guarda Rodas O</i>	4,00	4,90	1		
<i>Guarda Rodas L</i>	4,00				
<i>Pilar Parede N</i>	5,42	6,61	5		
<i>Pilar Parede S</i>	5,12				
<i>Tabuleiro N</i>	13,04	30,70	4		
<i>Tabuleiro C</i>	12,36				
<i>Tabuleiro S</i>	25,04				

O viaduto em análise obteve o nível médio de deterioração da estrutura devido aos seus elementos constituintes apresentaram grau de deterioração moderados. Os valores mais acentuados encontrados se devem principalmente pela ocorrência de pequenas fissuras, pontos de corrosão de armadura e leve eflorescência. Frente ao exposto, é recomendada manutenção no prazo máximo de 2 anos.

#### **4.3. VIADUTO ACESSO AO GUARÁ SENTIDO ZOOLÓGICO – 064\_795\_85\_47\_V**

O viaduto de pior avaliação deste trabalho é utilizado como instrumento de interligação de vias importantes do Distrito Federal – EPGU e EPIA – é localizado em região de elevado desenvolvimento socioeconômico e de intenso tráfego. Na *Figura 4-12*, há a exposição das estruturas constituintes dessa OAE.





Figura 4-12 Foto panorâmica Viaduto 1 acesso Guará - Sentido Zoológico

Em virtude de sua extensão, o viaduto foi dividido em poroes identificadas pelos pontos cardeais, com norte rumo ao Jardim Zoológico de Brasília. Cabe ressaltar que a presente análise é referente ao viaduto cujo fluxo de veículos na pista de rolamento é voltado ao zoológico mencionado, enquanto há outro viaduto de igual construo no qual o fluxo é direcionado à entrada da cidade Guará – Viaduto Acesso Guará 064\_795\_54\_86\_V - também inspecionado no Lote 04. É importante notar que houve o alargamento do viaduto, de maneira que os tabuleiros apresentam graus de deteriorao distintos entre a porão nova e antiga. O lado 1 é dado pela região antiga e o lado 2 pela estrutura mais recente. Segue resumo das subdivisoes desse viaduto.

- Guarda-rodas leste e oeste;
- Cortinas norte e sul;
- Pilares de 1 a 6;
- Tabuleiros sul (1 e 2), centro-sul (1 e 2), centro-norte (1 e 2) e norte (1 e 2).

A *Figura 4-13* expo alguns elementos listados acima a fim de ampliar a compreensão da divisão apresentada. Características construtivas distintas são observadas em cada porão do viaduto devido à ampliao da edificao. Os pilares à esquerda possuem marcaoes de uso que não são possíveis de identificar nos pilares à direita. Além disso, é possível notar a diferenciao do tabuleiro em duas poroes: a mais antiga à direita, intitulada como porão 1 no trabalho; a porão mais recente  esquerda, caracterizada pelo número 2.

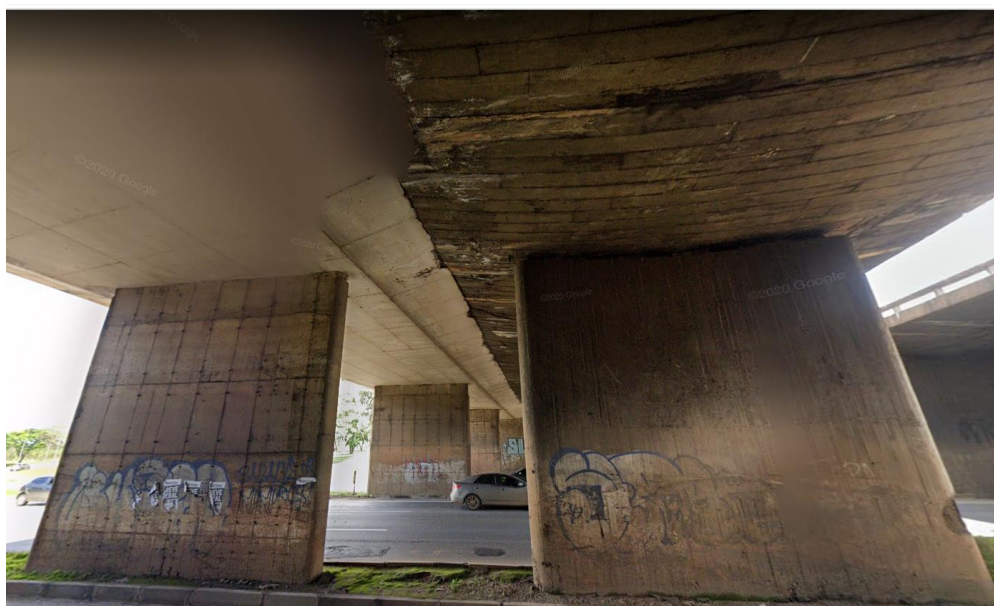


Figura 4-13 Elementos do Viaduto 1 Acesso Guará – Sentido Zoológico (Retirado do Google Maps)

As tabelas a seguir representam fichas de preenchimento utilizadas para a inspeo de cada família de elemento do viaduto. Nas listas são expostas as possíveis manifestaes patológicas, os fatores de ponderao, os fatores de intensidade atribuídos e a relevância estrutural de cada elemento. Por fim, temos o resultado do grau de deteriorao de cada elemento ( $G_{de}$ ). As demais fichas podem ser consultadas no ANEXO.

Tabela 4-10 Grau de deteriorao da Cortina Sul Viaduto Acesso Guará

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
Cortina S	Fr = 3	Cobrimento deficiente	3		0	50,15
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregao	3	2	4,8	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		0	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2	1	1,6	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	4	40	
		Infiltrao de gua	3	1	2,4	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
Abrasão do concreto	3		0			

Tabela 4-11 Grau de deterioração do Pilar 5 Viaduto Acesso Guará

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
Pilar 5	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3	2	4,8	59,59
		Corrosão de armaduras	5	3	40	
		Desagregação	3	2	4,8	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		0	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		1,6	
		Abrasão do concreto	3	3	24	

Tabela 4-12 Grau de deterioração do tabuleiro Centro-Norte 1 (antigo) Viaduto Acesso Guará

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
Tabuleiro CN1	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	4	60	165,85
		Corrosão de armaduras	5	4	100	
		Desagregação	3	3	24	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	3	16	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	4	40	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	3	24	
		Manchas	3	3	24	
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

A partir dos valores de  $G_{de}$ , é possível calcular o grau de deterioração das famílias ( $G_{df}$ ), em seguida calcular o grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ). A Tabela 4-13 resume os resultados de todos os elementos do Viaduto 1 de acesso ao Guará – Sentido Zoológico de Brasília.



Tabela 4-13 Resultados para o Viaduto 1 Acesso Guará-Zoológico

Elemento	Grau de Deterioração do Elemento (Gde)	Grau de Deterioração da Família (Gdf)	Fator de Relevância (Fr)	Grau de Deterioração Estrutural (Gd)	Nível de Deterioração da Estrutura
<i>Cortina S</i>	50,15	53,20	3	<b>144,71</b>	<b>Crítico</b>
<i>Cortina N</i>	7,20				
<i>Guarda Rodas O</i>	59,80	63,16	1		
<i>Guarda Rodas L</i>	7,80				
<i>Pilar 1</i>	8,00	71,05	5		
<i>Pilar 2</i>	6,98				
<i>Pilar 3</i>	7,20				
<i>Pilar 5</i>	59,59				
<i>Pilar 6</i>	13,58				
<i>Pilar 4</i>	7,68				
<i>Tabuleiro S1</i>	68,24	216,11	4		
<i>Tabuleiro CS1</i>	157,04				
<i>Tabuleiro CN1</i>	165,85				
<i>Tabuleiro N1</i>	68,64				
<i>Tabuleiro S2</i>	4,98				
<i>Tabuleiro CS2</i>	36,57				
<i>Tabuleiro CN2</i>	34,91				
<i>Tabuleiro N2</i>	12,80				

Com base nos resultados do viaduto em análise, são alcançados níveis de deterioração elevados em todas as famílias de elementos, evidenciando o estado crítico da estrutura. Os valores resultantes expressam condições alarmantes para o funcionamento da estrutura. A seguir são expostos de modo mais detalhado danos encontrados em diferentes elementos da OAE.

Foi verificado que a porção nova da duplicação do viaduto apresenta resultados mais satisfatórios se comparada à porção antiga. Apesar disso, são vistas fissuras expressivas, alinhadas à infiltração de água e manchas. A *Figura 4-14* apresenta esses danos na porção centro-sul 2 do viaduto.



Figura 4-14 Tabuleiro Centro-Sul 2 Viaduto 1 acesso Guará – Sent. Zoológico

Em contrapartida, foi constatado que toda a porão antiga do viaduto está em estado de elevada deteriorao, a *Figura 4-15* identifica danos importantes na subdivisão norte da OAE. Nota-se diferenciao significativa entre a parte mais nova  esquerda e a antiga à direita, mesmo que conectadas. No registro, é identificada a presença de eflorescência, junto a pontos de abrasão e exposio de armaduras.



Figura 4-15 Tabuleiro Norte 1 Viaduto 1 acesso Guará – Sent. Zoológico



Figura 4-16 Detalhe exposição de armadura tabuleiro Norte 1 Viaduto 1 acesso Guará – Sent. Zoológico



Figura 4-17 Tabuleiro Centro-sul 1 Viaduto 1 acesso Guará – Sent. Zoológico

Danos expressivos são identificados nos elementos da edificação. O Pilar 5, estrutura com fator de relevância estrutural máximo, apresenta comprometimento em relação  exposição de armaduras, conforme *Figura 4-17*. Ainda que as cortinas e os guarda-rodas possuam relevância menor no cálculo, são estruturas fundamentais para o funcionamento adequado da OAE, contribuindo até mesmo como barreira a acidentes mais graves, como no caso dos



guarda-rodas. As *Figuras 4-18 e 4-19* a seguir detalham fenômenos patológicos encontrados nesses elementos.



Figura 4-18 Pilar 5 com armadura exposta Viaduto 1 acesso Guará - Sent. Zoológico



Figura 4-19 Cortina Sul com elevada fissurao Viaduto 1 acesso Guará - Sent. Zoológico



Figura 4-20 Guarda-rodas Oeste com exposição de armaduras Viaduto 1 acesso Guará – Sent. Zoológico

Com base no exposto, são recorrentes os fenômenos patológicos no viaduto inspecionado, a metodologia GDE/UnB retornou uma avaliação crítica da OAE de acesso à cidade Guará. De acordo a Verly (2015), é recomendada intervenção imediata a estruturas que apresentem nível crítico de deterioração estrutural.

#### **4.4. ANÁLISE DE DADOS**

As inspeções realizadas durante os anos de 2020 e 2021 proporcionaram a elaboração de um banco de dados em nuvem e de registros fotográficos referentes a 179 Obras de Arte Especiais do Distrito Federal. O presente estudo abarca 30 viadutos selecionados dentre as OAES avaliadas. As informações obtidas por meio da Metodologia GDE/UnB possibilitaram a catalogação do estado de deterioração dos elementos e dos danos constatados nas estruturas. As investigações propostas a seguir visam identificar as principais manifestações patológicas encontradas no estudo, compreender correlações e promover um entendimento mais completo das Obras de Arte Especiais do Distrito Federal.

A frequência de danos é um aspecto crucial para a compreensão dos níveis de deterioração obtidos na avaliação dessas estruturas. A *Tabela 4-14* expõe a lista de frequência de danos obtida para os 30 viadutos avaliados neste lote.

Tabela 4-14 Frequência de danos – 30 OAEs Lote 04

Danos	Frequência
Manchas	359
Infiltração de água	226
Fissuras	220
Eflorescência	168
Abrasão do concreto	154
Corrosão de armaduras	146
Cobrimento deficiente	78
Desagregação	66
Desplacamento	24
Falhas de concretagem	8
Deslocamento por empuxo	2
Desvio de geometria	0
Flechas	0
Sinais de esmagamento	0

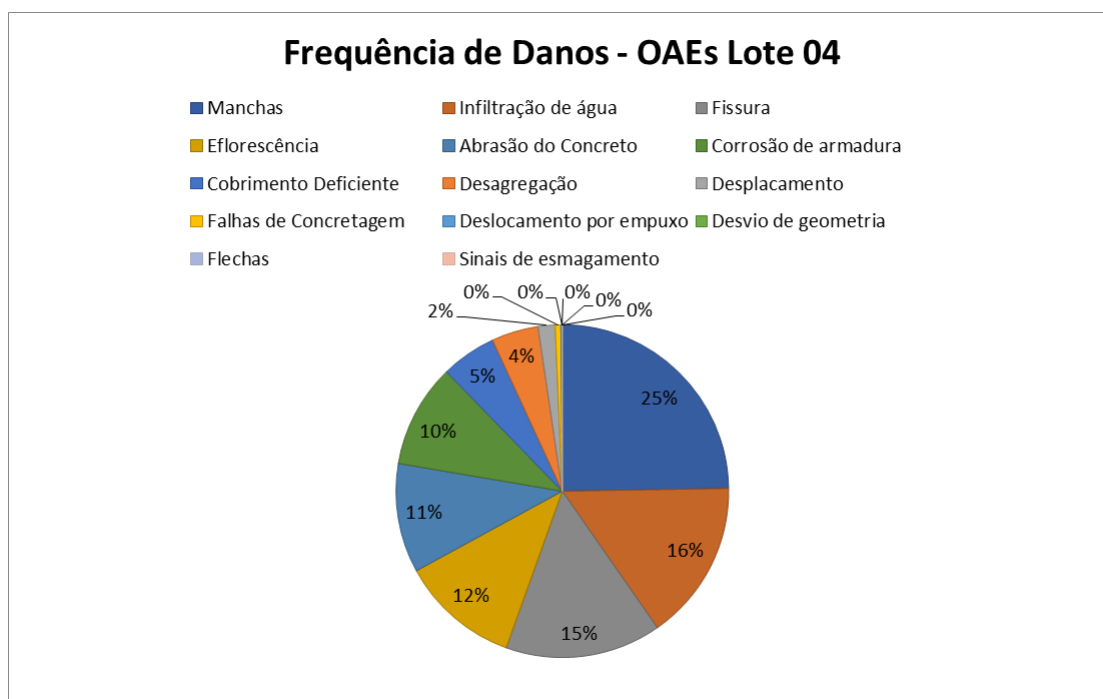


Figura 4-21 Frequência de danos – OAEs Lote 04

A análise da frequência de danos revela como principais manifestações patológicas as manchas, infiltração de água, fissuração e eflorescência. Conforme a literatura, é esperado que os primeiros sinais visuais de manifestações patológicas sejam as manchas no concreto. Esses sintomas se devem a diferentes causas, sejam elas químicas, físicas ou biológicas. Em corroboração ao expressivo surgimento de manchas, temos a infiltração de água, fenômenos que podem ser correlacionados.

De mesmo modo, a fissuração das estruturas constitui uma das causas primárias para a infiltração de água na construção civil. Tendo como consequência a hidrólise do cimento e a dissolução de produtos de cálcio, que resulta na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície do concreto, a eflorescência.

Nota-se, portanto, a consistência dos fenômenos observados e o conjunto de agentes promotores das manifestações patológicas. Em alternativa, os danos que não tiveram recorrência nas avaliações foram: desvio na geometria, flechas e sinais de esmagamento. Nos dois primeiros, a dificuldade de avaliação por meio de inspeções visuais pode ter contribuído para a ocorrência nula.

Em segmento ao encontrado no lote completo, as 10 Obras de Arte Especiais de maior nível de deterioração apresentaram comportamento semelhante em relação aos danos mais frequentes, conforme exposto na *Tabela 4-15*.

Tabela 4-15 Frequência de danos 10 OAEs de maior Gd

<b>Danos</b>	<b>Frequência</b>	<b>Frequência Relativa</b>
Manchas	131	23%
Eflorescência	85	15%
Infiltração de água	83	15%
Fissuras	80	14%
Corrosão de armaduras	60	10%
Abrasão do Concreto	57	10%
Desagregação	47	8%
Cobrimento deficiente	20	3%
Desplacamento	4	1%
Falhas de Concretagem	3	1%
Deslocamento por empuxo	2	0%
Desvio de geometria	0	0%
Flechas	0	0%
Sinais de esmagamento	0	0%

Um escopo importante de estudo é frequência de danos para cada elemento inspecionado, tendo em vista que essa análise pode exprimir informações a respeito da suscetibilidade das subdivisões da estrutura aos danos observados nas avaliações. As tabelas seguintes são constituídas pela frequência dos danos para cada elemento do lote inspecionado.

Tabela 4-16 Frequência de danos por elemento estrutural

Danos	Elementos						Total
	Cortina	Guarda-rodas	Longarina	Pilar	Tabuleiro	Transversina	
Manchas	12	71	37	106	109	24	359
Infiltração de água	10	47	35	13	106	15	226
Fissuras	10	60	30	17	96	7	220
Eflorescência	8	20	34	12	81	13	168
Abrasão do Concreto	5	57	10	43	25	14	154
Corrosão de armaduras	0	22	26	11	85	2	146
Cobrimento deficiente	0	18	8	6	42	4	78
Desagregação	2	10	14	16	22	2	66
Desplacamento	0	18	0	6	0	0	24
Falhas de Concretagem	1	0	5	1	1	0	8
Deslocamento por empuxo	2	0	0	0	0	0	2
Desvio de geometria	0	0	0	0	0	0	0
Flechas	0	0	0	0	0	0	0
Sinais de esmagamento	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 4-17 Frequência relativa de danos por elemento estrutural

Danos	Elementos					
	Cortina	Guarda-rodas	Longarina	Pilar	Tabuleiro	Transversina
Manchas	24%	22%	19%	46%	19%	26%
Infiltração de água	20%	15%	18%	6%	19%	16%
Fissuras	20%	19%	15%	7%	17%	8%
Eflorescência	16%	6%	17%	5%	14%	14%
Abrasão do Concreto	10%	18%	5%	19%	4%	15%
Corrosão de armaduras	0%	7%	13%	5%	15%	2%
Cobrimento deficiente	0%	6%	4%	3%	7%	4%
Desagregação	4%	3%	7%	7%	4%	2%
Desplacamento	0%	6%	0%	3%	0%	0%
Falhas de Concretagem	2%	0%	3%	0%	0%	0%
Deslocamento por empuxo	4%	0%	0%	0%	0%	0%
Desvio de geometria	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Flechas	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Sinais de esmagamento	0%	0%	0%	0%	0%	0%



Frente ao exposto, é evidente que os elementos estruturais analisados apresentam respostas diferentes aos agentes agressivos. A variação da frequência das manifestações patológicas pode estar relacionada à manutenção, à concepção, à execução e ao uso das estruturas.

Com base na ocorrência dos danos, pode-se obter a classificação do nível de deterioração dos elementos estruturais das OAEs avaliadas. As tabelas em sequência foram propostas à verificação desses níveis, de maneira a indicar mais objetivamente o panorama do estado de conservação desses componentes.

Tabela 4-18 Nível de deterioração por elemento estrutural

Elemento	Nível de Deterioração					Total
	Baixo	Médio	Alto	Sofrível	Crítico	
Cortina	4	4	2	0	0	10
Guarda-Rodas	14	4	3	0	0	21
Longarina	13	3	0	0	0	16
Pilar	16	9	1	3	0	29
Tabuleiro	25	22	5	1	2	55
Transversina	7	1	0	0	0	8

Tabela 4-19 Nível percentual de deterioração por elemento estrutural

Elemento	Nível de Deterioração (%)				
	Baixo	Médio	Alto	Sofrível	Crítico
Cortina	40%	40%	20%	0%	0%
Guarda-Rodas	67%	19%	14%	0%	0%
Longarina	81%	19%	0%	0%	0%
Pilar	55%	31%	3%	10%	0%
Tabuleiro	45%	40%	9%	2%	4%
Transversina	88%	13%	0%	0%	0%

Pela ótica encontrada, a maioria dos elementos das Obras de Arte Especiais do Distrito Federal inspecionadas se encontra em condições boas a médias de conservação estrutural. Nota-se o alcance a níveis mais altos de deterioração em cortinas, guarda-rodas, tabuleiros e pilares. Os dois últimos detêm forte impacto no valor do Grau de Deterioração ( $G_d$ ), por apresentarem fator de relevância (Fr) igual a 4 e 5, respectivamente. Por essa razão, OAEs com alto nível de deterioração estão correlacionadas a danos elevados nessas estruturas.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho é componente de um estudo direcionado à avaliação de Obras de Arte Especiais de Brasília-DF por meio da metodologia Grau de Deterioração de Estruturas desenvolvida pela Universidade de Brasília (GDE/UnB). O lote de identificação 04, contendo 30 viadutos, constituiu a amostra de avaliação presente neste estudo. Em consonância, outros quatro lotes de avaliação, distribuídos entre alunos da Universidade de Brasília – UnB, formaram o conjunto de OAEs destinadas ao emprego da metodologia na avaliação estrutural dessas obras.

Inicialmente, a metodologia GDE/UnB foi proposta ao estudo do grau de deterioração estrutural de edifícios. Conforme bibliografia apresentada na presente monografia, adaptações foram desenvolvidas à GDE/UnB de modo que houve a aprimoração desta metodologia, tornando-a também aplicável às Obras de Arte Especiais.

A metodologia do trabalho baseou-se na realização de inspeções visuais realizadas em campo, conforme alterações propostas à inspeção e avaliação de viadutos e pontes desenvolvidas mais recentemente por Verly (2015). A análise do Grau de Deterioração Estrutural ( $G_d$ ) foi realizada considerando todos os valores de Grau de Deterioração dos Elementos –  $G_{de}$  – em função da proximidade evidenciada nos resultados de deterioração das OAEs avaliadas quando comparados os valores finais de  $G_d$  e  $G_d^*$ .

As Obras de Arte Especiais (OAEs) avaliadas resultaram em um panorama com 9 estruturas de nível baixo de deterioração, 15 apresentaram nível médio, 4 exprimiram nível alto, 1 em nível sofrível e 1 em crítico.

O Viaduto 2 do Setor Boa Vista em Sobradinho-DF, identificado pelo código 035\_781\_74\_63\_V, obteve o menor Grau de Deterioração Estrutural ( $G_d$ ) de valor resultante igual 6,82. Para esse viaduto foi indicada manutenção preventiva, em referência a Verly (2015).

O Viaduto Campus UnB Gama, identificação 083\_802\_66\_99\_V, expôs nível médio de deterioração com ( $G_d$ ) igual a 21,26. As condições estruturais dos elementos do viaduto expuseram características frequentemente observadas nas OAEs de mesma condição de conservação. É indicada manutenção no prazo máximo de 2 anos.

O Viaduto 1 de acesso a cidade Guará/DF, identificação 064\_795\_85\_47\_V, sentido Jardim Zoológico de Brasília, resultou estado crítico para a sua condição estrutural com ( $G_d$ ) igual a 144,71. Apesar da recente ampliação de elementos da estrutura, o estado geral de conservação do viaduto sugere intervenção imediata.

Frente aos resultados, os valores de deterioração estrutural obtidos pela metodologia GDE/UnB foram compatíveis ao estado de conservação das Obras de Arte Especiais avaliadas nas diferentes regiões do Distrito Federal. Com o objetivo de compor um sistema de gestão das OAEs do DF, a metodologia GDE/UnB proposta às avaliações mostrou-se coerente aos objetivos almejados para a implantação de uma ferramenta facilitadora a programas de manutenção de edificações notáveis ao interesse público.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 6118 (2014). Projeto de Estruturas de Concreto – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANDRADE, J. J. O.; 1997. Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado: Análise das Manifestações Patológicas nas Estruturas no Estado de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, RS, 139 p.

BOLDO, P.; 2002. Avaliação Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Publicação E.DM-001A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 295p.

CASTRO, E. K.; 1994. Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. Dissertação de Mestrado, Publicação N°: E.DM-004A/94, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 155 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes, 1ª ed. Brasília, DF, 2017, 84 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, 2. ed. Rio de Janeiro, 2004, 253 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários, 1. ed. Rio de Janeiro, 2010, 159 p.

EUQUERES, P.; 2011. Metodologia de Inspeção em Estruturas de Pontes de Concreto Armado. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 168 p.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. Guidance for good bridge design. Boletim 9. Lausanne: fib, 2000.

FONSECA, R. P.; 2007. A Estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Propostas de Manutenção.

Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 006 A/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 213p.

FUSCO, Pericles. Técnica de armar as estruturas de concreto. São Paulo: Pini. 392p.

Há 30 anos, Brasília se tornava Patrimônio Cultural da Humanidade. CORREIO BRAZILIENSE, Cidades, Brasília, 7 de dezembro de 2017. Disponível em: <[https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2017/12/07/interna\\_cidadesDF,646122/ha-30-anos-brasilia-se-tornava-patrimonio-cultural-da-humanidade.shtml](https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2017/12/07/interna_cidadesDF,646122/ha-30-anos-brasilia-se-tornava-patrimonio-cultural-da-humanidade.shtml)>. Acesso em: 10 de abril de 2021.

KLEIN, D., GASTAL, F., CAMPANOLO, J.L & SILVA FILHO, L. C.; 1991. “Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte”, XXV Jornada Sul Americana de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, pp.185–196.

Laudo da UnB contradiz governo e recomenda demolição completa de viaduto do Eixão. G1 DF, Brasília, 7 de fev. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/DF/distrito-federal/noticia/viaduto-do-eixao-unb-contradiz-governo-e-recomenda-demolicao-do-que-restou.ghtml>>. Acesso em: 10 de abril de 2021.

LAURIA, M. L. M.; Avaliação dos Viadutos do Eixo Rodoviário Sul de Brasília pela Metodologia GDE/UnB. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, [S. l.], 2018.

LOPES, B. A. R.; 1998. “Sistema de Manutenção Predial para Grades Estoques de Edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”. Dissertação de Mestrado, Publicado N°: E.DM-011A/98, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 308p.

LOURENÇO, L. C. *et al.* Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais. Revista de Engenharia Civil. Universidade de Minho, n° 34, 2009.

MARCELLI, M. Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: Pini, 2007.

MOREIRA, A. L. A.; A estrutura do Palácio da Justiça em Brasília: aspectos históricos, projeto, execução, intervenções e proposta de estratégias para manutenção [Distrito Federal]. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, 2007.

MITRE, Marcos Pedrosa. Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto / M. P. Mitre – São Paulo, 2005.

PAVONI, F. B.; Avaliação das Obras de Arte Especiais do Eixo Rodoviário Norte de Brasília pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, [S. l.], 2019.

PESSOA, D. F.; 2002. A Estrutura da Catedral de Brasília: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Proposta de Manutenção. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 243 p.

ROSA, F. B.; 2014. Comparação das Metodologias de Inspeção de Obras de Arte: Metodologia GDE/UnB e DNIT. Monografia de Projeto Final II, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 110p.

SANTIAGO, P. H. R.; AZEVEDO, V. V.; 2012. Aplicação da Metodologia GDE em Pontes e Viadutos. Monografia de Projeto Final II, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 77 p.

SEEGETH, 2019 – Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação – Mapa Índice Articulação SICAD – Escalas 1:10.000 – Folhas 103, 120, 121, 137 e 153. Disponível em: <<http://mapas.segeth.DF.gov.br/index2.htm>>; Acesso em: 10 de abril de 2021.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. 1. ed. São Paulo: PINI, 1998. 250 p.

SOUZA, M.F. Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. 2008. 64f. Monografia (Especialista em construção civil) Minas Gerais, 2008, Universidade Federal de Minas Gerais.

TRIBUNAL DE CONTAS DO DISTRITO FEDERAL – TCDF. Relatório de Auditoria: Avaliação da Destinação de Recursos para Obras em Andamento e os Procedimentos Afetos às Atividades de Manutenção dos Bens Públicos. Brasília, DF, 2012.

TUUTTI, K.; 1982. *Corrosion of Steel in Concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm*, 469 p.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB. Nota Técnica ENC/UNB – N°001-2018 de 07 de março de 2018. Análise Técnica das Causas do Desabamento Parcial da Estrutura do Viaduto Sobre a Galeria dos Estados – Brasília – DF.

VERLY, R. C.; 2015. 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.

## 7. ANEXO

### 7.1. FICHAS DE INSPEÇÃO

Tabela 7-1 Ficha de Inspeção – Cortina e Contenção

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi
<i>Cortina</i>	Fr = 3	Cobrimento deficiente	3	
		Corrosão de armaduras	5	
		Desagregação	3	
		Deslocamento por empuxo	5	
		Desplacamento	3	
		Desvio de geometria	3	
		Eflorescência	2	
		Falhas de concretagem	2	
		Fissuras (2 a 5)	2	
		Infiltração de água	3	
		Manchas	3	
		Sinais de Esmagamento	4	
		Abrasão do concreto	3	

Tabela 7-2 Ficha de Inspeção - Guarda-rodas

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi
<i>Guarda Rodas</i>	Fr = 1	Cobrimento deficiente	3	
		Corrosão de armaduras	5	
		Desagregação	3	
		Desplacamento	3	
		Eflorescência	2	
		Falhas de concretagem	2	
		Fissuras (2 a 5)	2	
		Manchas	3	
		Sinais de Esmagamento	4	
		Infiltração de água	3	
		Abrasão do Concreto	3	



Tabela 7-3 Ficha de Inspeção – Pilar e Pilar-Parede

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi
<i>Pilar</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3	
		Corrosão de armaduras	5	
		Desagregação	3	
		Deslocamento por empuxo	5	
		Desplacamento	3	
		Desvio de geometria	3	
		Eflorescência	2	
		Falhas de concretagem	2	
		Fissuras (2 a 5)	2	
		Infiltração de água	3	
		Manchas	3	
		Sinais de Esmagamento	4	
		Abrasão do concreto	3	

Tabela 7-4 Ficha de Inspeção – Tabuleiro

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi
<i>Tabuleiro</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	
		Corrosão de armaduras	5	
		Desagregação	3	
		Desplacamento	3	
		Eflorescência	2	
		Falhas de concretagem	2	
		Fissuras (2 a 5)	2	
		Flechas	5	
		Infiltração de água	3	
		Manchas	3	
		Abrasão do concreto	3	

Tabela 7-5 Ficha de Inspeção – Transversina

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi
<i>Transversina</i>	Fr = 3	Cobrimento deficiente	3	
		Corrosão de armaduras	5	
		Desagregação	3	
		Desplacamento	3	
		Desvio de geometria	3	
		Eflorescência	2	
		Falhas de concretagem	2	
		Fissuras (2 a 5)	2	
		Infiltração de água	3	
		Manchas	3	
		Abrasão do concreto	3	

Tabela 7-6 Ficha de Inspeção – Longarinas e Travessas

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi
<i>Longarina</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3	
		Corrosão de armaduras	5	
		Desplacamento	3	
		Desvio de geometria	3	
		Eflorescência	2	
		Falhas de concretagem	2	
		Fissuras (2 a 5)	2	
		Infiltração de água	3	
		Manchas	3	
		Sinais de Esmagamento	4	
		Abrasão do concreto	3	

## 7.2. Viaduto 2 Setor Boa Vista - 035\_781\_74\_63\_V

Tabela 7-7 Grau de deterioração do Guarda-rodas Oeste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Guarda Rodas O</i>	Fr = 1	Cobrimento deficiente	3		0	7,80
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Abrasão do Concreto	3	1	2,4	

Tabela 7-8 Grau de deterioração do Guarda-rodas Leste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Guarda Rodas L</i>	Fr = 1	Cobrimento deficiente	3		0	7,80
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Abrasão do Concreto	3	1	4,8	

Tabela 7-9 Grau de deterioração Longarinas

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Longarinas</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3		0	8,16
		Corrosão de armaduras	5	1	4	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	1	1,6	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	2	4,8	
		Abrasão do concreto	3		0	

Tabela 7-10 Grau de deterioração da viga Travessa Norte

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Travessa N</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3		0	3,60
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Manchas	3	1	2,4	
		Abrasão do concreto	3	1	2,4	

Tabela 7-11 Grau de deterioração da viga Travessa Sul

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Travessa S</i>	Fr = 3	Cobrimento deficiente	3		0	6,40
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Manchas	3	1	2,4	
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

Tabela 7-12 Grau de deterioração do Tabuleiro

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3		0	8,35
		Corrosão de armaduras	5	1	4	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	2	1,6	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	2	4,8	
		Abrasão do concreto	3	1	2,4	

Tabela 7-13 Grau de deterioração do Pilar 1

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar 1</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3		0	0,00
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		0	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Manchas	3		0	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Abrasão do concreto	3		0	

Tabela 7-14 Grau de deterioração do Pilar 2

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar 2</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3		0	0,00
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		0	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Manchas	3		0	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Abrasão do concreto	3		0	

### 7.3. Viaduto Campus UNB Gama - 083\_802\_66\_99\_V

Tabela 7-15 Grau de deterioração da Cortina Norte

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
Cortina N	Fr = 3	Cobrimento deficiente	3			8,08
		Corrosão de armaduras	5			
		Desagregação	3			
		Deslocamento por empuxo	5			
		Desplacamento	3			
		Desvio de geometria	3			
		Eflorescência	2			
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Infiltração de água	3	2	4,8	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4			
		Abrasão do concreto	3	1	2,4	

Tabela 7-16 Grau de deterioração da Cortina Sul

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
Cortina S	Fr = 3	Cobrimento deficiente	3			25,04
		Corrosão de armaduras	5	1	4	
		Desagregação	3	1	2,4	
		Deslocamento por empuxo	5			
		Desplacamento	3			
		Desvio de geometria	3			
		Eflorescência	2			
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2	3	16	
		Infiltração de água	3	2	4,8	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4			
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

Tabela 7-17 Grau de deterioração do Guarda Rodas Oeste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Guarda Rodas O</i>	Fr = 1	Cobrimento deficiente	3			4,00
		Corrosão de armaduras	5			
		Desagregação	3			
		Desplacamento	3			
		Eflorescência	2			
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2			
		Manchas	3	1	2,4	
		Sinais de Esmagamento	4			
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Abrasão do Concreto	3	1	2,4	

Tabela 7-18 Grau de deterioração do Guarda Rodas Leste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Guarda Rodas L</i>	Fr = 1	Cobrimento deficiente	3			4,00
		Corrosão de armaduras	5			
		Desagregação	3			
		Desplacamento	3			
		Eflorescência	2			
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2			
		Manchas	3	1	2,4	
		Sinais de Esmagamento	4			
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Abrasão do Concreto	3	1	2,4	



Tabela 7-19 Grau de deterioração do Pilar Norte

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar Parede N</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3			5,42
		Corrosão de armaduras	5			
		Desagregação	3			
		Deslocamento por empuxo	5			
		Desplacamento	3			
		Desvio de geometria	3			
		Eflorescência	2			
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	1	2,4	
		Sinais de Esmagamento	4			
		Abrasão do concreto	3	1	2,4	

Tabela 7-20 Grau de deterioração do Pilar Sul

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar Parede S</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3			5,12
		Corrosão de armaduras	5			
		Desagregação	3			
		Deslocamento por empuxo	5			
		Desplacamento	3			
		Desvio de geometria	3			
		Eflorescência	2			
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Infiltração de água	3			
		Manchas	3	1	2,4	
		Sinais de Esmagamento	4			
		Abrasão do concreto	3	1	2,4	

Tabela 7-21 Grau de deterioração do Tabuleiro Norte

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
Tabuleiro N	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3			13,04
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3			
		Desplacamento	3			
		Eflorescência	2	2	3,2	
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Flechas	5			
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	2	4,8	
		Abrasão do concreto	3			

Tabela 7-22 Grau de deterioração do Tabuleiro Central

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
Tabuleiro C	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3			12,36
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3			
		Desplacamento	3			
		Eflorescência	2	1	1,6	
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Flechas	5			
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	1	2,4	
		Abrasão do concreto	3			

Tabela 7-23 Grau de deterioração do Tabuleiro Sul

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
Tabuleiro S	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3			25,04
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3			
		Desplacamento	3			
		Eflorescência	2	2	3,2	
		Falhas de concretagem	2			
		Fissuras (2 a 5)	2	3	16	
		Flechas	5			
		Infiltração de água	3	2	4,8	
		Manchas	3	2	4,8	
		Abrasão do concreto	3			

#### 7.4. Viaduto 1 acesso Guará – sentido Zoológico 064\_795\_85\_47\_P

Tabela 7-24 Grau de deterioração da Cortina Sul

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Cortina S</i>	Fr = 3	Cobrimento deficiente	3		0	59,80
		Corrosão de armaduras	5		40	
		Desagregao	3	2	4,8	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		0	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2	1	3,2	
		Falhas de concretagem	2		4,8	
		Fissuras (2 a 5)	2	4	0	
		Infiltrao de gua	3	1	2,4	
		Manchas	3	2	24	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Abrasão do concreto	3		0	

Tabela 7-25 Grau de deterioração da Cortina Norte

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Cortina N</i>	Fr = 3	Cobrimento deficiente	3		0	7,80
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregao	3		0	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		3,2	
		Desvio de geometria	3		4,8	
		Eflorescência	2	1	0	
		Falhas de concretagem	2		2,4	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	2,4	
		Infiltrao de gua	3		24	
		Manchas	3	2	40	
		Sinais de Esmagamento	4		24	
		Abrasão do concreto	3		0	

Tabela 7-26 Grau de deterioração do Pilar 1

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar 1</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3		0	8,00
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3	2	4,8	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		0	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

Tabela 7-27 Grau de deterioração do Pilar 2

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar 2</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3		0	6,98
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		0	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2	1	1,6	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Abrasão do concreto	3		0	

Tabela 7-28 Grau de deterioração do Pilar 3

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar 3</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3		0	7,20
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		0	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

Tabela 7-29 Grau de deterioração do Pilar 4

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar 4</i>	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3		0	7,68
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		0	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

Tabela 7-30 Grau de deterioração do Pilar 5

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
Pilar 5	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3	2	4,8	59,59
		Corrosão de armaduras	5	3	40	
		Desagregação	3	2	4,8	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		0	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Abrasão do concreto	3	3	24	

Tabela 7-31 Grau de deterioração do Pilar 6

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
Pilar 6	Fr = 5	Cobrimento deficiente	3	2	4,8	13,58
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3		0	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3		0	
		Desvio de geometria	3		0	
		Eflorescência	2	1	1,6	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

Tabela 7-32 Grau de deterioração do Tabuleiro Norte 1

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro N1</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	3	24	68,64
		Corrosão de armaduras	5	3	40	
		Desagregação	3	3	23	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	3	16	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	2	4,8	
		Manchas	3	3	24	
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

Tabela 7-33 Grau de deterioração do Tabuleiro Norte 2

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro N2</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3		0	12,80
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	1	1,6	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Manchas	3	2	4,8	
		Abrasão do concreto	3		0	

Tabela 7-34 Grau de deterioração do Tabuleiro Centro-Norte 1

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro CN1</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	4	60	165,85
		Corrosão de armaduras	5	4	100	
		Desagregação	3	3	24	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	3	16	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	4	40	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	3	24	
		Manchas	3	3	24	
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

Tabela 7-35 Grau de deterioração do Tabuleiro Centro-Norte 2

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro CN2</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3		0	34,91
		Corrosão de armaduras	5	1	4	
		Desagregação	3	2	4,8	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	2	3,2	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	2	4,8	
		Manchas	3	3	24	
		Abrasão do concreto	3		0	



Tabela 7-36 Grau de deterioração do Tabuleiro Centro-Sul 1

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro CS1</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	3	24	157,04
		Corrosão de armaduras	5	4	100	
		Desagregação	3	3	24	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	3	16	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	3	16	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	3	3	
		Manchas	3	3	24	
		Abrasão do concreto	3	2	4,8	

Tabela 7-37 Grau de deterioração do Tabuleiro Centro-Sul 2

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro CS2</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3		0	36,57
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3	1	2,4	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	2	3,2	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	3	16	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	2	4,8	
		Manchas	3	3	24	
		Abrasão do concreto	3		0	

Tabela 7-38 Grau de deterioração do Tabuleiro Sul 1

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro S1</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	3	24	68,24
		Corrosão de armaduras	5	3	40	
		Desagregação	3	3	34	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	3	26	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	2	4,8	
		Manchas	3	3	24	
		Abrasão do concreto	3		0	

Tabela 7-39 Grau de deterioração do Tabuleiro Sul 2

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro S2</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3		0	4,98
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	1	1,6	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Manchas	3	1	2,4	
		Abrasão do concreto	3		0	

Tabela 7-40 Grau de deterioração do Guarda-Rodas Oeste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Guarda Rodas O</i>	Fr = 1	Cobrimento deficiente	3		0	59,80
		Corrosão de armaduras	5	3	40	
		Desagregação	3	2	4,8	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Abrasão do Concreto	3	3	24	

Tabela 7-41 Grau de deterioração do Guarda-Rodas Leste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Guarda Rodas L</i>	Fr = 1	Cobrimento deficiente	3		0	7,80
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	2	3,2	
		Manchas	3	2	4,8	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Infiltração de água	3	1	2,4	
		Abrasão do Concreto	3	1	2,4	