

**AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS DA CIDADE DE BRASÍLIA
(LOTE 5) PELA METODOLOGIA DO GRAU DE DETERIORAÇÃO
ESTRUTURAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

JOÃO GABRIEL PACHECO MONTEIRO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ESTRUTURAS
E CONSTRUÇÃO CIVIL

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 5) PELA METODOLOGIA DO GRAU DE
DETERIORAÇÃO ESTRUTURAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

JOÃO GABRIEL PACHECO MONTEIRO

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 5) PELA METODOLOGIA DO GRAU DE
DETERIORAÇÃO ESTRUTURAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

JOÃO GABRIEL PACHECO MONTEIRO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 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)

Manoel José Mangabeira Pereira Filho, D.Sc (UFPA)
(Examinador externo)

BRASÍLIA/DF, 28 DE OUTUBRO DE 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

MONTEIRO, JOÃO GABRIEL PACHECO

Avaliação de Obras de Arte Especiais de Brasília (Lote 5) pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília [Distrito Federal] 2021.

xvi, 105 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. Patologias

4. Grau de Deterioração Estrutural 5. Manutenção 6. Inspeção

I. ENC/FT/UnB

II. Título (bacharel)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MONTEIRO, J.G.P. (2021). Avaliação de Obras de Arte Especiais de Brasília (Lote 5) 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, 105 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: João Gabriel Pacheco Monteiro

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação de Obras de Arte Especiais de Brasília (Lote 5) pela Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 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.

João Gabriel Pacheco Monteiro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais,
Paulo e Gracivalda, e aos meus irmãos,
Paulo e Pedro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, que me proporcionou tantas oportunidades, me dando forças, paciência, perseverança e todo o apoio que tive de tantas pessoas incríveis ao meu redor. Sou grato por tudo que consegui até aqui e convicto que sou uma pessoa abençoada.

Agradeço aos meus pais, que nunca mediram esforços pelo bem estar, alegria e pelas realizações minhas e dos meus irmãos. Muito obrigado por serem pessoas tão maravilhosas, nos educando, ensinando tantos valores, mostrando a importância de coisas simples, incentivando a sempre ir além, aconselhando, sorrindo e chorando juntos. É imensurável tudo o que investiram em nós, tanto tempo, esforço, recursos, carinho, amor e esperança. Cada conquista, por menor que seja, eu consigo ver um pouco de vocês nela.

Aos meus irmãos Paulo e Pedro, que, assim como eu, saíram de casa para conquistar seus sonhos e encher nossos pais de orgulho e alegria. Muito obrigado por me mostrarem que somos capazes de alcançar o que almejamos, por mais difícil que seja. Obrigado por cuidarem tanto de mim, se preocuparem e ajudar. Nesta ocasião, agradeço em especial ao Paulo, que se mudou pra Brasília junto comigo e passou por inúmeras situações ao meu lado, me aconselhando, compartilhando tantos momentos e sendo meu melhor amigo, minha companhia diária. Eu confio e acredito muito em vocês, sei que vão muito longe e vou me esforçar ao máximo para estar junto.

Agradeço aos meus avós Orlandino, Maria, Terezinha e ao meu falecido avô Geraldo cujo não conheci mas ouvi tanto sobre e lembro sempre que estou no trabalho. Obrigado por sempre me apoiarem, depositarem tanto amor e moverem o mundo para agradarem seus netos. Cada história, por mais simples que seja, sempre cheia de lições.

Ao meu orientador, Marcos Honorato, por todo apoio, conselhos e ensinamentos profissionais, acadêmicos e pessoais.

Aos meus amigos do “Biiiiirl”, que me receberam e acolheram em Brasília, sempre me ajudando a vencer tantos obstáculos e me mostrando o quanto essa cidade é maravilhosa, durante 6 anos de amizade que não se findarão por aqui. Aos meus amigos de Anápolis, que carrego no peito desde a escola e me encho de alegria sempre que os revejo.

À minha namorada, Isabela, por ter sido minha companheira de cada momento, bom ou ruim, por ser minha melhor amiga, pelos cuidados, pelos conselhos, pela ajuda em tudo que faço e pelo apoio em cada decisão que tomo. Eu te amo muito e sou muito grato por toda compreensão e tolerância que teve comigo, espero ser tão bom para você quanto é pra mim. Obrigador por me inspirar tanto.

Por fim, agradeço às engenheiras Érica, Ana e Camilla, que me ensinaram tanto e me proporcionaram inúmeras lições, complementando e me ajudando a aplicar tudo que aprendi na universidade. E a cada colega de trabalho, pelos vários ensinamentos práticos, me esforçarei diariamente para ser capaz de retribuir.

RESUMO

As Obras de Arte Especiais (OAEs) são estruturas que necessitam de projeto específico e possuem o intuito de transpor barreiras físicas, como cursos d'águas (pontes) ou vias e vales secos (viadutos), sendo de grande importância em um país cuja matriz de transporte é composta por rodovias, majoritariamente. Nesse contexto, o concreto armado é um material muito utilizado nesse tipo de estrutura no Brasil, devido às suas propriedades mecânicas, moldagem adaptável e custo acessível.

Desta forma, assim como as demais estruturas, as OAEs de concreto armado devem atender às exigências de capacidade resistiva às solicitações, durabilidade e desempenho em serviço. Com isso, as manutenções periódicas são de extrema importância para que aumente o tempo de vida útil e mantenha o desempenho da estrutura dentro de um nível seguro. A partir disso, é proposto a aplicação da metodologia GDE/UnB, que se trata de um método de avaliação do grau de deterioração estrutural. Ela propõe a realização de inspeções em busca de manifestações patológicas, seguida de avaliações e equacionamentos para que se chegue a um índice que represente, numericamente, o estado em que se encontra a estrutura. Com base nessa avaliação, se pode recomendar prazos de intervenções e até mesmo montar um cronograma de manutenções.

Portanto, o presente estudo visa aplicar a metodologia GDE/UnB em um lote de Obras de Arte Especiais no Distrito Federal e analisar os resultados para verificar o grau de deterioração de cada OAE. Com a aplicação do método percebeu-se que a maioria das OAEs do lote avaliado se encontram no estado baixo de deterioração, seguidos pelo estado médio e alto. A inspeção periódica baseada nessa metodologia é importante para entender o funcionamento e propagação dos danos com o tempo, auxiliando em intervenções e manutenções nas estruturas.

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

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. MOTIVAÇÃO	2
1.2. JUSTIFICATIVA.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivos gerais	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OAEs	5
2.1.1. MANCHAS	5
2.1.2. FALHAS DE CONCRETAGEM.....	6
2.1.3. DESAGREGAÇÃO	7
2.1.4. FISSURAS	8
2.1.5. EFLORESCÊNCIA.....	9
2.1.6. CORROSÃO DAS ARMADURAS.....	10
2.1.7. ABRASÃO DO CONCRETO.....	10
2.1.8. DESPLACAMENTO	11
2.2. PESQUISAS EM DESTAQUE PARA O TEMA.....	12
2.2.1. KLEIN <i>et. al</i> (1991)	12
2.2.2. CASTRO (1994).....	15
2.2.3. VERLY (2015)	23

2.2.4. LAURIA (2018)	29
2.2.5. PAVONI (2019)	33
2.3. PESQUISAS RELACIONADAS AO TEMA	36
2.3.1. ANDRADE (1997).....	36
2.3.2. LOPES (1998)	37
2.3.3. BOLDO (2002).....	40
2.3.4. PESSOA (2002).....	43
2.3.5. FONSECA (2007)	44
2.3.6. EUQUERES (2011).....	49
2.3.7. SANTIAGO & AZEVEDO (2012).....	51
2.3.8. ROSA (2014).....	52
3. METODOLOGIA	54
3.1. ABORDAGEM DA METODOLOGIA GDE/UNB.....	54
3.2. OAEs SELECIONADAS PARA INSPEÇÃO.....	57
3.3. PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO.....	61
4. RESULTADOS.....	63
4.1. RESULTADOS PRINCIPAIS	65
4.1.1. Viaduto 1 sobre acesso à Ponte Costa e Silva	65
4.1.2. Viaduto 2 TTN sobre a DF 004.....	71
4.2. ANÁLISE DE DADOS.....	74
5. CONCLUSÃO	86
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
7. ANEXOS	91
7.1. FICHAS DE INSPEÇÃO.....	91

7.2. RESULTADOS DETALHADOS	94
7.2.1. Viaduto 064_789_21_90_V	94
7.2.2. Viaduto 044_789_73_24_V	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Classificação do grau de risco da estrutura (KLEIN et. al, 1991)	15
Tabela 2-2: Famílias, danos e fatores de ponderação respectivos (CASTRO, 1994)	18
Tabela 2-3: Exemplo de classificação de danos nos fatores de intensidade (CASTRO, 1994)...	19
.....	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)	25
Tabela 2-7: Fatores de intensidade por danos – Parte 2 (VERLY, 2015)	26
Tabela 2-8: Resultados das metodologias SGO/DNIT e GDE/UnB (VERLY, 2015).....	27
Tabela 2-9: Resultados das metodologias SGO/DNIT e GDE/UnB com formulação modificada do G_d (VERLY, 2015).....	28
Tabela 2-10: Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB – Eixo Rodoviário Sul (LAURIA, 2018)	32
Tabela 2-11: Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB – Eixo Rodoviário Norte (PAVONI, 2019)	34
Tabela 2-12: Comparativo de resultados obtidos entre SANTIAGO & AZEVEDO (2012) e PAVONI (2019)	35
Tabela 2-13: Resultados obtidos (ANDRADE, 1997)	37
Tabela 2-14: Proposição de Fatores de Ponderação de danos (LOPES, 1998).....	38
Tabela 2-15: Resultados apresentados para os edifícios inspecionados (LOPES, 1998).....	39
Tabela 2-16: Classificação dos níveis de deterioração de elemento (BOLDO, 2002).....	42
Tabela 2-17: Classificação dos níveis de deterioração da estrutura (BOLDO, 2002)	42
Tabela 2-18: Prazos máximos para intervenção em função da classificação nos níveis de deterioração (BOLDO 2002).....	42
Tabela 2-19: Resumo de resultados da metodologia GDE/UnB – Catedral de Brasília (PESSOA, 2002).....	43
Tabela 2-20: Reformulação de fatores de intensidade relacionados à corrosão (FONSECA, 2007).....	44

Tabela 2-21: Tipologia de fissuras de concreto armado - Estado Plástico (FONSECA, 2007)	46
.....	46
Tabela 2-22: Tipologia de fissuras de concreto armado - Estado Endurecido (FONSECA, 2007)	46
.....	46
Tabela 2-23: Tipologia de fissuras de concreto armado – Erros de projeto/execução ou cargas excessivas (FONSECA, 2007)	47
.....	47
Tabela 2-24: Classificação de níveis de deterioração de elemento e estrutura reformulados (FONSECA, 2007)	48
.....	48
Tabela 2-25: Resultados da metodologia GDE/UnB após alterações (FONSECA, 2007)	49
.....	49
Tabela 2-26: Classificação de níveis de deterioração adaptado para pontes (EUQUERES, 2011)	50
.....	50
Tabela 2-27: Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB – Eixo Rodoviário Norte (SANTIAGO & AZEVEDO, 2012)	52
.....	52
Tabela 2-28: Resultados das metodologias SGO/DNIT E GDE/UnB (ROSA, 2014)	53
.....	53
Tabela 3-1: Fatores de intensidade por danos adaptado de Verly (2015)	55
.....	55
Tabela 3-2: Resumo das equações da Metodologia GDE/UnB	56
.....	56
Tabela 3-3: OAEs selecionadas na primeira etapa do projeto	60
.....	60
Tabela 3-4: OAEs selecionadas na segunda etapa do projeto	61
.....	61
Tabela 4-1: Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB em OAEs do Lote 5 – Brasília, DF	63
.....	63
Tabela 4-2: Grau de deterioração do Guarda Rodas Oeste	65
.....	65
Tabela 4-3: Grau de deterioração do Pilar Norte-Oeste	66
.....	66
Tabela 4-4: Grau de deterioração do Tabuleiro Sul	66
.....	66
Tabela 4-5: Resultados obtidos para o Viaduto 064_789_22_90_V	67
.....	67
Tabela 4-6: Resultados obtidos para o Viaduto 044_789_73_24_V	72
.....	72
Tabela 4-7: Frequência de danos nas OAEs – Lote 5	75
.....	75
Tabela 4-8: Danos mais frequentes nas dez OAEs de maior Gd	76
.....	76
Tabela 4-9: Classificação do estado dos elementos das OAEs	77
.....	77
Tabela 4-10: Classificação do estado dos elementos das OAEs (%)	78
.....	78
Tabela 4-11: Frequência dos danos por elementos das OAEs	81
.....	81
Tabela 4-12: Frequência relativa dos danos por elementos das OAEs	82
.....	82
Tabela 7-1: Ficha de Inspeção – Cortina e Contenção	91
.....	91
Tabela 7-2: Ficha de Inspeção – Guarda Rodas	91
.....	91

Tabela 7-3: Ficha de Inspeção – Pilar	92
Tabela 7-4: Ficha de Inspeção – Tabuleiro	92
Tabela 7-5: Ficha de Inspeção – Transversina	93
Tabela 7-6: Ficha de Inspeção – Longarina	93
Tabela 7-7: Resultados Guarda Rodas Leste.....	94
Tabela 7-8: Resultados Guarda Rodas Oeste	94
Tabela 7-9: Resultados Pilar Sul-Leste	95
Tabela 7-10: Resultados Pilar Sul-Oeste.....	95
Tabela 7-11: Resultados Pilar Centro-Leste.....	96
Tabela 7-12: Resultados Pilar Centro-Oeste	96
Tabela 7-13: Resultados Pilar Norte-Leste	97
Tabela 7-14: Resultados Pilar Norte-Oeste	97
Tabela 7-15: Resultados Tabuleiro Sul	98
Tabela 7-16: Resultados Tabuleiro Centro-Sul	98
Tabela 7-17: Resultados Tabuleiro Centro-Norte	99
Tabela 7-18: Resultados Tabuleiro Norte	99
Tabela 7-19: Resultados Guarda Rodas Oeste	100
Tabela 7-20: Resultados Guarda Rodas Leste.....	100
Tabela 7-21: Resultados Guarda Rodas Centro-Oeste.....	101
Tabela 7-22: Resultados Guarda Rodas Centro-Leste	101
Tabela 7-23: Resultados Pilar Norte	102
Tabela 7-24: Resultados Pilar Central.....	102
Tabela 7-25: Resultados Pilar Sul	103
Tabela 7-26: Resultados Tabuleiro Sul	103
Tabela 7-27: Resultados Tabuleiro Centro-Sul	104
Tabela 7-28: Resultados Tabuleiro Centro-Norte	104
Tabela 7-29: Resultados Tabuleiro Norte	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Exemplo de manchas na superfície do concreto – Viaduto Saída Sul na DF-002 próximo a SQS 16, Brasília – DF.....	6
Figura 2.2: Exemplo de falhas de concretagem – Viaduto 1 sobre acesso à Ponte Costa e Silva, Brasília – DF	7
Figura 2.3: Exemplo de desagregação – Viaduto 2 sobre acesso à Ponte Costa e Silva – Brasília, DF.....	8
Figura 2.4: Exemplo de fissura – Viaduto sobre EPDB, Brasília – DF.....	9
Figura 2.5: Exemplo de eflorescência – Viaduto 1 sobre acesso à Ponte Costa e Silva, Brasília – DF.....	9
Figura 2.6: Exemplo de corrosão das armaduras – L2 Norte próximo ao edifício Banco do Brasil – Brasília, DF	10
Figura 2.7: Exemplo de abrasão com exposição de armaduras – Viaduto na DF-002 Norte acesso Ministérios Norte, Brasília – DF.....	11
Figura 2.8: Exemplo de deslocamento – Viaduto 1 sobre acesso a Ponte Costa e Silva, Brasília – DF.....	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).....	31
Figura 2.12: Elementos dos viadutos do Eixão (LAURIA, 2018)	31
Figura 3.1: Divisão Distrito Federal Malha 10 x 10 (Retirado do Google Maps)	58
Figura 3.2: Mapa do Distrito Federal com as divisões das OAEs entre a equipe de trabalho (Retirado do Google Maps).....	59
Figura 4.1: Classificação das OAEs – Lote 5.....	64
Figura 4.2: Elemento guarda rodas com deslocamento e corrosão de armadura	68
Figura 4.3: Elemento tabuleiro com eflorescência, fissuras e falha de concretagem.....	69
Figura 4.4: Isolamento de viaduto na L4 Sul. Fonte: https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2019/03/13/buracos-na-estrutura-de-viaduto-na-l4-sul-no-df-fazem-detrancar-interditar-pista-para-analise-da-defesa-civil.ghtml	70

Figura 4.5: Buracos na estrutura de viaduto na L4 Sul. Fonte: https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2019/03/13/buracos-na-estrutura-de-viaduto-na-l4-sul-no-df-fazem-detran-interditar-pista-para-analise-da-defesa-civil.ghtml	71
Figura 4.6: Viaduto 2 TTN sobre a DF-040	72
Figura 4.7: Guarda Rodas com manchas	73
Figura 4.8: Frequência de danos nas OAEs – Lote 5	75
Figura 4.9: Danos mais frequentes nas dez OAEs de maior Gd	77
Figura 4.10: Níveis de deterioração das Cortinas	78
Figura 4.11: Níveis de deterioração das Cortinas Centrais	79
Figura 4.12: Níveis de deterioração dos Guarda Rodas	79
Figura 4.13: Níveis de deterioração das Longarinas e Transversinas	80
Figura 4.14: Níveis de deterioração dos Pilares	80
Figura 4.15: Níveis de deterioração dos Tabuleiros	81
Figura 4.16: Resumo da frequência de danos nos elementos	82
Figura 4.17: Frequência de danos no elemento cortina	83
Figura 4.18: Frequência de danos no elemento cortina central	83
Figura 4.19: Frequência de danos no elemento guarda rodas	84
Figura 4.20: Frequência de danos no elemento longarina	84
Figura 4.21: Frequência de danos no elemento pilar	85
Figura 4.22: Frequência de danos no elemento tabuleiro	85

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
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;
δ	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

Obras de Arte Especiais são estruturas feitas com intuito de transpassar barreiras físicas, atendendo aos diversos modais de transportes de modo a garantir um bom fluxo e funcionamento do sistema de transporte. Esse tipo de estrutura, representadas aqui pelos viadutos (quando construídos sobre avenidas ou vales secos) e pelas pontes (quando construídas sobre cursos d'água), são chamadas Obras de Arte Especiais – OAEs (DNIT, 2017) devido a necessidade de projetos específicos para suas dimensões e atuações.

A construção desse tipo de estrutura utiliza, muitas vezes, o concreto armado como material base, uma vez que apresenta resistência considerável à maioria das cargas, além de ter moldagem adaptável para os diferentes desenhos, matéria prima de fácil disponibilidade e com custos razoáveis.

A capital do Brasil, Brasília, é situada no Distrito Federal e possui diversos edifícios, monumentos, pontes e viadutos utilizando concreto em suas mais diversas variações estruturais. Porém, mesmo sendo considerada jovem, a falta de manutenção das estruturas vem levando a um grau de deterioração cada vez mais preocupante na infraestrutura da cidade. Esse fato ficou evidente quando, recentemente, auditorias do Tribunal de Contas do Distrito Federal – TCDF (2012) apontaram que alguns viadutos necessitavam de manutenção em caráter de urgência. Além disso, o desmoronamento de parte do viaduto sobre a Galeria dos Estados no Eixo Rodoviário em sua região central, abordado na Nota Técnica ENC/UNB – N°001-2018 de 07 de março de 2018, agravou tal preocupação.

No decorrer da utilização da estrutura é natural a ocorrência de degradação, variável em função da região onde a obra está edificada, das condicionantes de execução e projeto e até das interferências ao longo do tempo. Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, tais estruturas devem atender às exigências de capacidade resistiva às solicitações, durabilidade e desempenho em serviço. Dessa maneira é de extrema importância o acompanhamento da condição das infraestruturas e consequente aplicação de manutenção para garantir a vida útil dos elementos estruturais, sendo que quanto mais brevemente se identifica problemas na estrutura, menos custoso é para resolvê-lo em comparação com os resultados de sua evolução.

A metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília (GDE/UnB), iniciada por CASTRO (1994), trata-se de um dos métodos utilizados para avaliação do grau de deterioração de estruturas. Para isso, se faz uso de formulações e inspeções para análise do grau de deterioração estrutural. A metodologia ainda permite a determinação de prazos para as próximas intervenções de manutenção, possibilitando a elaboração de um cronograma de manutenções que garante a qualidade nas estruturas em geral, diminuindo drasticamente acidentes gerados pela evolução de patologias que levam a perda da capacidade resistente das peças e, em último estágio, ao colapso parcial ou total.

1.1. MOTIVAÇÃO

A cidade de Brasília, com seus 61 anos de idade, foi inaugurada no início da década de 1960 e desde sua concepção já consistia em uma referência urbanística e arquitetônica. Isso se deve aos desenhos urbanísticos de Lúcio Costa, das concepções arquitetônicas de Oscar Niemeyer e dos arrojados cálculos estruturais de Joaquim Cardozo, entre outros profissionais excepcionais presentes nessa história. Com apenas 27 anos de idade já foi reconhecida pela UNESCO como Patrimônio Cultural da Humanidade, sendo a cidade mais jovem a ser presenteada com tal honraria. Embora todo o apreço internacional pela capital brasileira, é notório o descaso perante à conservação e proteção aos patrimônios ao longo da cidade.

Tal descaso foi evidenciado em fevereiro de 2018, quando a cidade e o país foram surpreendidos pelo desabamento de um dos viadutos do Eixo Rodoviário Central de Brasília, embora não tenha havido mortes, o prejuízo foi alto. Uma parte dos cuidados ao patrimônio de uma cidade envolve a manutenção estrutural das pontes, edifícios, viadutos, monumentos e demais estruturas constituintes do todo. Na ocasião, uma equipe da Universidade de Brasília teve a oportunidade de trabalhar com o caso e averiguou que o acidente foi ocasionado por falta de manutenção no referido viaduto. Isso ocorre porque, com a exposição da estrutura 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 no dia 6 de fevereiro de 2018, como mostra a Nota Técnica ENC/UNB – N°001-2018 de 07 de março de 2018. Tal relato é um exemplo do que o descaso ao longo do tempo está fazendo com a infraestrutura da cidade, ressaltando a importância da manutenção preventiva com inspeções periódicas nos elementos estruturais urbanos.

Diante de acidentes como esse, faz-se necessário buscar uma mudança de postura e tomada de decisões de modo a evitar novos erros provenientes de causas similares. Levando em conta que Brasília é repleta de Obras de Arte Especiais espalhadas ao longo do seu território, tornou-se relevante analisar a condição de tais estruturas. Seguindo o trabalho realizado por Lauria (2018) na execução de inspeções das entrequadras do Eixo Rodoviário Sul, e posterior avaliação realizado por Pavoni (2019) no Eixo Rodoviário Norte, o presente trabalho propõe a continuidade da avaliação para as demais OAEs presentes na cidade. Para isso, as avaliações dos viadutos têm como base a metodologia proposta por CASTRO (1994), que tem sido atualizada nos últimos 26 anos por pesquisadores da Universidade de Brasília. Dessa forma, se espera que o estudo contribua para a antecipação de ações que evitem acidentes futuros oriundos de queda de desempenho estrutural nos elementos de concreto de Brasília.

1.2. JUSTIFICATIVA

Diante do exposto, as estruturas em concreto armado ou protendido demandam manutenções periódicas, tanto preventivas quanto corretivas, para cumprirem seu papel durante sua vida útil. Fato esse cuja somatória que, somado a falta de medidas preventivas e deficiente monitoramento de tais estruturas, torna necessário a criação de um programa de manutenção das Obras de Arte Especiais de Brasília. A partir disso, o método em estudo busca viabilizar a avaliação da condição na qual a estrutura (ponte ou o viaduto) se encontra, recomendando, a depender do nível de deterioração, intervenções em baixo, médio ou longo prazo. Com o uso das avaliações das OAEs deste trabalho, é possível a montagem de banco de dados que classifica as prioridades de tratamentos dentre os danos catalogados nas estruturas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivos gerais

Aplicação da metodologia GDE/UnB para as Obras de Artes Especiais de Brasília, mais especificamente para o Lote 5, que contém 36 OAEs. Além disso, analisar os resultados obtidos com o cálculo do grau de deterioração das estruturas, presente na metodologia.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar inspeções visuais em Obras de Arte Especiais localizados no Distrito Federal, referentes ao Lote 5 com 36 OAEs, aplicando a metodologia GDE/UnB;
- Analisar os resultados de cada OAE e determinar seu grau de deterioração;
- Adicionar resultados e registro fotográficos a um banco de dados juntamente com uma equipe de 5 alunos da Universidade de Brasília.
- Apresentar sistematicamente os resultados para a OAE que obteve pior avaliação para o grau de deterioração estrutural e a que obteve melhor índice, especificando os seus elementos, famílias de elementos, o fator de intensidade dos danos e a avaliação global da estrutura.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 5 capítulos, apresentados da seguinte maneira.

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

O Capítulo 2, apresenta e descreve as patologias mais comuns nas OAEs com base no que foi evidenciado para as estruturas analisadas e apresenta os trabalhos de embasamento e aplicação da metodologia GDE/UnB, consistindo na revisão bibliográfica deste trabalho, sua relevância é fundamental para situar o estudo temporalmente com o desenvolvimento, aplicação, resultados e modificações já realizadas até o momento.

O Capítulo 3 expõe o método utilizado na aplicação da metodologia GDE/UnB nas OAEs de Brasília (Lote 5), tratando sobre as abordagens adotadas, o método de separação das OAEs dentro da equipe de trabalho, a forma de nomenclatura usada e o procedimento de inspeção em campo.

O Capítulo 4 exhibe os resultados obtidos com aplicação completa da metodologia GDE/UnB nas OAEs selecionadas para análise, além de destacar os principais danos encontrados para as OAEs de melhor e pior condição estrutural.

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

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OAEs

A patologia das estruturas se refere ao estudo das origens, manifestações, consequências e mecanismos de ocorrência de falhas e dos sistemas de degradação das estruturas (SOUZA e RIPPER, 1998). Além disso, o estudo das manifestações patológicas é de extrema importância para elaborar propostas de intervenções e manutenções nas estruturas.

As patologias podem ter causas tanto humanas quanto naturais, que são capazes de influenciar nas propriedades físicas e mecânicas dos materiais constituintes (LAURIA 2018). Levando em conta que as causas naturais estão, muitas vezes, ligadas à degradação dos materiais constituintes ao longo do tempo, alterando suas propriedades e desempenho que pode não estar condizente com as considerações adotadas na fase de projeto. Caso não haja uma intervenção dentro de um prazo correto, pode haver necessidade de limitação de carregamento ou interdição completa da OAE (VERLY, 2015).

A partir de inspeções rotineiras, realizadas de forma visual, é possível identificar problemas patológicos e relacioná-los com as suas possíveis causas, segundo Verly (2015). Portanto, levantar e classificar as principais patologias para as OAEs em estudo, de modo a promover seu melhor conhecimento e identificação em campo, se torna relevante para este trabalho.

2.1.1. MANCHAS

As manchas são patologias que surgem como um dos primeiros sinais de degradação da estrutura (PAVONI, 2019). Elas se dão como consequência da interação superficial do concreto com a ação de microrganismos e fungos, gerando um escurecimento da face do concreto (VERLY, 2015). Paralelamente 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 uma exemplificação de manchas na superfície de concreto aparente.



Figura 2.1: Exemplo de manchas na superfície do concreto – Viaduto Saída Sul na DF-002 próximo a SQS 16, Brasília – DF

2.1.2. FALHAS DE CONCRETAGEM

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 (VERLY, 2015). Isso ocorre pois, tratam-se da ocorrência de espaços vazios não preenchidos pelo concreto na forma executada e suas causas podem ser oriundas da consistência irregular ou dosagem equivocada do concreto, vibração não suficiente para o lançamento do concreto ou da utilização de agregados graúdos com diâmetros máximo incoerentes com as dimensões da peça em concretagem. Sendo assim, os vazios existentes colocam em risco o desempenho da estrutura e, diminuem a camada de cobrimento, responsável pela proteção das armaduras. A Figura 2.2 exemplifica falhas de concretagem observadas durante a inspeção deste trabalho.



Figura 2.2: Exemplo de falhas de concretagem – Viaduto 1 sobre acesso à Ponte Costa e Silva, Brasília – DF

2.1.3. DESAGREGAÇÃO

A desagregação é a patologia oriunda do ataque dos produtos de hidratação do cimento por sulfatos e por alguns ácidos, como o sulfúrico, clorídrico, acético e nítrico (VERLY, 2015). Com isso, o material perde gradativamente sua capacidade aglomerante promovendo o desprendimento dos agregados graúdos, levando a perdas de seção e de cobertura. Tal patologia se manifesta inicialmente como uma mudança de coloração do concreto (mancha), seguida pelo aumento de volume e expansão das fissuras entrecruzadas gerando empolamento das camadas externas do concreto, segundo Lauria (2018). É possível observar casos de desagregação na Figura 2.3.



Figura 2.3: Exemplo de desagregação – Viaduto 2 sobre acesso à Ponte Costa e Silva – Brasília, DF

2.1.4. FISSURAS

A fissuração de elementos de concreto em certa medida, é considerado um dano natural, pelo fato de acontecer em função da variabilidade de resistência ao longo das peças e a baixa resistência a esforços de tração do material, o que facilita o seu surgimento. Entretanto, tal patologia também pode ter origem na distribuição irregular de tensões dentro da estrutura e na decomposição ou desagregação do concreto, segundo Lauria (2019). Sendo assim, é necessário avaliar e monitorar a abertura ao longo do tempo, além de levar em conta a profundidade e condições ambientais atuantes, para determinar a gravidade das fissuras e evitar que esta acarrete novas patologias. A Figura 2.4 apresenta um caso de fissura.



Figura 2.4: Exemplo de fissura – Viaduto sobre EPDB, Brasília – DF

2.1.5. EFLORESCÊNCIA

Oriunda da interação entre os produtos da lixiviação, quando uma substância é extraída de um meio sólido através da dissolução em um meio líquido, e o gás carbônico presente no ar, a eflorescência é uma patologia presente em diversos materiais e causa um aumento na porosidade dos mesmos. Com a percolação de água no concreto, tem-se a ocorrência da hidrólise do cimento e dissolução dos produtos de cálcio, que resulta na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície do concreto (VERLY, 2015). A Figura 2.5 exemplifica um caso de formação de eflorescência.



Figura 2.5: Exemplo de eflorescência – Viaduto 1 sobre acesso à Ponte Costa e Silva, Brasília – DF

2.1.6. CORROSÃO DAS ARMADURAS

O processo de corrosão de armaduras é dado por fenômeno químico ou físico-químico que ocorre devido a exposição da armadura à agentes agressivos, provocando a deterioração do material. Ele ocorre através de reações de óxido-redução que transformam átomos metálicos em íons livres, segundo Lourenço (2009). O concreto possui um elevado pH, formando um filme, de proteção superficial da armadura, composto por óxidos e hidróxidos. Através da carbonatação do concreto pela exposição a substâncias como o gás carbônico (CO_2), dióxido de enxofre (SO_2) e o gás sulfídrico (H_2S), ocorre uma redução do pH e conseqüente perda da proteção. Com isso, a armadura encontra-se exposta, sujeita às reações que corroem a armadura metálica. Além disso, segundo Verly (2015), os óxidos e hidróxidos de ferro resultantes das reações apresentam volume superior aos compostos originais, induzindo a formação tensões interiores de tração elevadas, provocando a fissura do concreto, mostrando a importância de um cobrimento bem projetado e executado. Esta patologia pode se manifestar na superfície da estrutura através de manchas, deslocamentos ou fissuras. A Figura 2.6 demonstra um caso de corrosão de armadura.



Figura 2.6: Exemplo de corrosão das armaduras – L2 Norte próximo ao edifício Banco do Brasil – Brasília, DF

2.1.7. ABRASÃO DO CONCRETO

A abrasão é um desgaste da estrutura causado pelo choque de partículas com a superfície do concreto. Este fenômeno pode ocorrer por ação de agentes, como a água, o ar ou até mesmo

impactos de veículos que trafegam pelo viaduto ou ponte, segundo Lauria (2018). Sendo assim, os níveis de abrasão podem ir desde pequenas marcas até perdas consideráveis de seções ao longo da superfície, chegando a expor as armaduras. A Figura 2.7 exemplifica a abrasão no concreto armado com exposição das armações.



Figura 2.7: Exemplo de abrasão com exposição de armaduras – Viaduto na DF-002 Norte acesso Ministérios Norte, Brasília – DF

2.1.8. DESPLACAMENTO

Trata-se de lascas de concreto que caem da estrutura original. O deslocamento do concreto ocorre por falhas de concretagem, corrosão de armadura ou recalques de apoio (VERLY, 2015). Usualmente, é encontrado mais facilmente devido à corrosão da armação, pois esta entra em contato com a água por meio de infiltrações, fazendo com que oxide e aumento de volume, empurrando o concreto da superfície pra fora. Podem ir de pequenas escamações até perda acentuada da seção. A Figura 2.8 demonstra tal dano.



Figura 2.8: Exemplo de deslocamento – Viaduto 1 sobre acesso a Ponte Costa e Silva, Brasília – DF

2.2. PESQUISAS EM DESTAQUE PARA O TEMA

Ao longo dos anos, houveram diversas adaptações da metodologia, para se aumentar o nível de detalhamento das avaliações, até chegar na aplicação utilizada neste trabalho. Com isso, desenvolveram-se métodos de avaliação quantitativos que, quando bem utilizados, diminuem a subjetividade do estudo das patologias e análise de degradação estrutural. Sendo assim, foram selecionadas e revisadas, para embasamento e execução deste trabalho, pesquisas que se destacaram por abrangerem um histórico relevante de desenvolvimento da metodologia utilizada e pela sua aplicabilidade direta com o tema abordado.

2.2.1. KLEIN *et. al* (1991)

O trabalho consiste na criação de uma metodologia capaz de promover objetividade e padronização na execução de vistorias em Obras de Arte Especiais em concreto armado, gerando classificações em função do grau de risco estrutural, calculado baseado em parâmetros a serem expostos. A partir disso, buscou-se desenvolver um resultado que permita priorizar operações de manutenção com caráter mais imediato além de promover a atuação em frentes de manutenção periódicas e preventivas.

A metodologia Klein se inicia com uma inspeção visual da estrutura, capaz de identificar e registrar as patologias observadas ao longo da obra analisada. Para isso, a estrutura é particionada em grupos de mesmo elemento estrutural, chamados de famílias. Para os casos de Obras de Arte Especiais KLEIN *et. al* (1991) define as seguintes famílias:

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

Cada família proposta possui uma listagem com possíveis manifestações patológicas, permitindo atribuir notas a cada tipo de manifestação em função da intensidade que se apresenta, conduzindo a vistoria presencial de forma objetiva. A avaliação é feita atribuindo-se notas como um fator de intensidade do dano (*FI*), que variam de 0 a 4 na seguinte escala definida pelos autores:

- 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 $FI = 4$

Além disso, é importante ressaltar a definição de uma escala de importância estrutural entre as famílias de elementos com base no fator de relevância estrutural (*FR*). Para as OAEs, a metodologia Klein define a seguinte ordem crescente de relevância: Instalações diversas < Encontros < Instalações pluviais e pavimento < Juntas de dilatação e aparelhos de apoio < Pilares, vigas e tabuleiros.

Em sequência na metodologia Klein, define-se, por meio de notas que variam de 0 a 10, o fator de gravidade do problema (*FG*), revelando o nível de comprometimento estrutural causado pelo dano ocorrido em um elemento. Esse fator em conjunto com o *FI*, formulam a seguinte expressão do cálculo 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. Sequencialmente, para o cálculo do grau de risco da família (GRF), temos a seguinte equação:

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

Sendo,

n o número de elementos componentes da família;

δ o coeficiente de majoração.

O coeficiente de majoração (δ) tem a função de ressaltar a influência do elemento em estado mais crítico na família, aumentando a sua influência no cálculo do GRF . Tal coeficiente possui uma dependência do GRE do elemento em análise, conforme KLEIN *et al* (1991) apresenta:

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

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

Sendo,

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

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

A seguir, tem-se alguns valores 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 fim, em posse dos valores obtidos com os fatores de relevância da família (FR) e do grau de risco da família (GRF) para cada grupo de elementos, é possível calcular o grau de risco da estrutura (GR):

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

Sendo,

k o número de famílias de elementos da estrutura.

KLEIN *et. al* (1991) ainda 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, em caráter de dissertação de mestrado na Universidade de Brasília, um trabalho precursor do desenvolvimento da metodologia GDE/UnB. O estudo realizado busca utilizar a quantificação do grau de deterioração estrutural, obtido através da aplicação desta metodologia, para ressaltar a importância da implantação de programas de manutenção periódica em estruturas de concreto armado para garantia de durabilidade e cumprimento de vida útil prevista para a estrutura.

Para isso, CASTRO (1994) se baseou na metodologia proposta por KLEIN *et. al* (1991) e fez algumas adaptações de modo a ampliar a metodologia, tornando-a mais aplicável a outros tipos de estruturas que não só obras de arte especiais. Com isso, o autor permitiu quantificar a evolução dos danos ao longo da vida útil da estrutura estudada.

A metodologia tem como base a realização de inspeções periódicas nas estruturas com o preenchimento de cadernos de inspeção e seguinte cálculos aplicando as formulações propostas, partindo da avaliação de elemento isolado até se obter o índice final de deterioração da estrutura. Na Figura 2.9 podemos observar o fluxograma explicativo da metodologia GDE/UnB, apresentando a evolução qualitativa do procedimento adotado na aplicação da mesma.

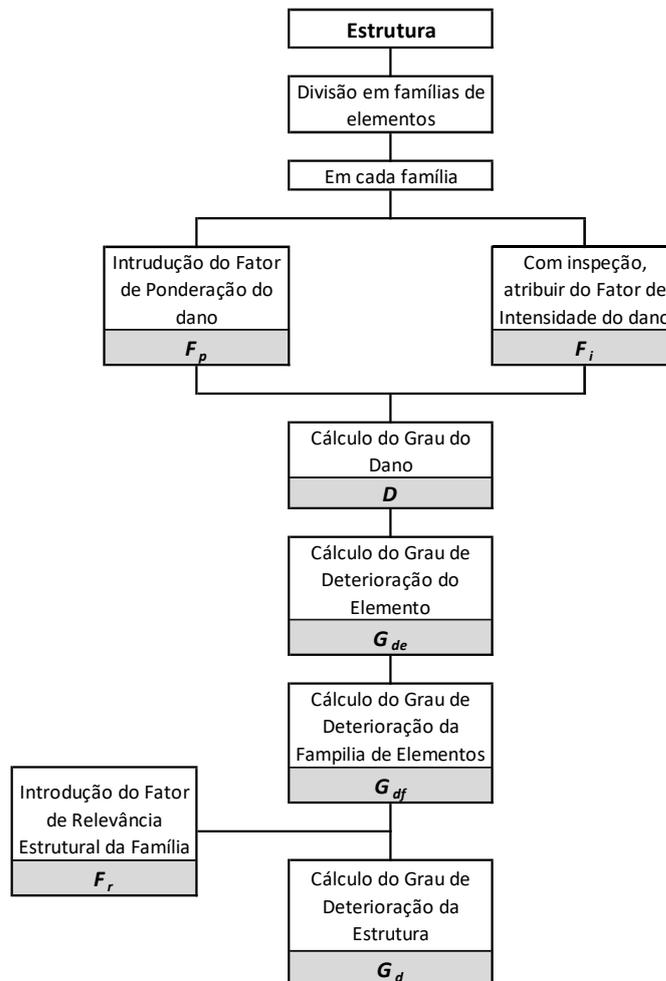


Figura 2.9: Fluxograma da metodologia GDE/UnB (CASTRO, 1994)

CASTRO (1994) definiu as famílias dividindo os elementos estruturais da edificação em grupos denominados famílias de elementos. Tal divisão foi feita a partir da separação de características estruturais dos elementos de edificações de concreto armado convencionais e são listadas a seguir:

- Pilares;
- Vigas;

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

A metodologia estabelece que, em função do interesse da avaliação estrutural e das particularidades da estrutura, a divisão supracitada pode ser feita de forma diferente, podendo até mesmo criar novas famílias.

Foi criada uma matriz com os possíveis danos para cada família de elementos, sendo que cada possibilidade de manifestação de danos é acompanhada por um valor de Fator de Ponderação do Dano (F_p) que varia de 1 a 10, com intuito de atribuir valores para a relevância de uma determinada patologia em função da estética, funcionalidade e segurança, onde 1 se refere à relevância mínima e 10 à relevância máxima. Vale ressaltar que uma mesma manifestação de dano pode ter diferentes fatores de ponderação em função das características da família de origem da patologia, uma vez que isso é a consequência variável que o mesmo dano pode trazer aos diferentes elementos. A Tabela 2.2 representa as famílias, os danos e seus respectivos fatores de ponderação.

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

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

A partir da inspeção visual, o responsável pela vistoria deve atribuir Fator de Intensidade do Dano (F_i) classificando, assim, a gravidade do dano. CASTRO (1994) 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 $F_i = 4$

Considerando que a atribuição de valores com base na caracterização acima pode se tornar demasiadamente subjetiva, CASTRO (1994) propõe uma tabela com descrição de cada nível de danos com seus respectivos fatores de intensidade para guiar o responsável pela vistoria e proporcionar uma maior objetividade na análise. Na Tabela 2-3 apresenta-se alguns exemplos dessa seleção de informações.

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 esfarelamento 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.

Seguindo na metodologia, tem-se o Grau de Dano (D), que é um fator introduzido para quantificar a manifestação de cada dano no elemento e tem base no modelo de evolução da deterioração do concreto no tempo, apresentado por TUUTTI (1982). O grau de dano é influenciado pelo fator de ponderação (F_p) e o fator de intensidade (F_i).

De forma análoga ao modelo de TUUTTI (1982) a proposição da formulação do grau de dano (D) de CASTRO (1994) pode ser visualizada na Figura 2.10 a seguir considerando $F_p = 10$. O eixo das abcissas refere-se aos valores de fatores de intensidade (F_i), variando de 0 a 4. Percebe-se ainda que no valor 2,5 de fator de intensidade há a mudança de fase e que o valor máximo do grau de dano é $D=100$.

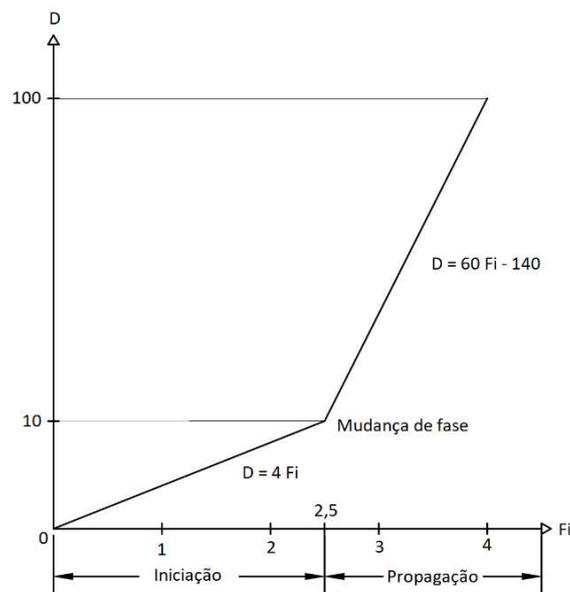


Figura 2.10: Formulação do Grau de dano (Castro,1994)

A divisão no cálculo do grau de dano procura evidenciar a diferença entre a fase de iniciação e a fase de propagação. Na fase de iniciação, definida pela reta que vai da origem até o ponto de mudança de fase, não deve haver sinais de comprometimento ou necessidade de intervenção imediata naquele elemento. Já na fase de propagação, que se inicia no ponto da mudança de fase, os danos são propagados mais rapidamente, demandando intervenção imediata para correção. Sendo assim, as intervenções feitas nas proximidades da mudança de fase, caracterizam economia de recursos na correção dos problemas. Sendo assim, o valor de grau de dano pode ser calculado segundo as equações a seguir, obtidas a partir do gráfico anterior.

Equação 2.6

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

Equação 2.7

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

A partir de tudo que foi supracitado, para CASTRO (1994), pode-se definir o cálculo do Grau de Deterioração de um Elemento (G_{de}) a partir das seguintes expressões que possuem uma dependência dos respectivos danos associados e da quantidade de danos detectados no mesmo elemento:

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

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

Sendo,

m o número de danos detectados no elemento;

D_i o grau do dano de ordem (i).

Para o equacionamento proposto, prevalece o detentor de maior grau de dano no caso de até dois danos. Já quando a quantidade de danos é superior a dois, a influência da superposição de danos é considerada na soma do maior dano com a média dos demais. A partir da quantificação deste parâmetro, (CASTRO, 1994) classifica as medidas a serem adotadas, como mostra a 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

Em seguida, a metodologia apresenta o Grau de Deterioração de uma Família (G_{df}), calculado como a média aritmética entre os graus de deterioração dos elementos componentes da família, entretanto, CASTRO (1994) evidencia os elementos mais danificados considerando apenas os valores de $G_{de} \geq 15$ mostrando que eles devem ser preponderantes no momento da análise do momento mais propício para intervenção de manutenção. Sendo assim, no caso em que a família apresenta apenas valores de $G_{de} < 15$ em seus elementos, o valor do parâmetro de grau de deterioração da família deve ser $G_{df} = 0$. A Equação 2.10 apresenta o cálculo do Grau de Deterioração da Família (G_{df}).

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

Sendo,

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

Para cada família é atribuído um parâmetro Fator de Relevância Estrutural (Fr), que são pesos utilizados para evidenciar a importância relativa das diferentes famílias de elementos para uma estrutura. 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 $F_r = 5,0$

Finalmente, a partir dos resultados do grau de deterioração da família (G_{df}) e seus respectivos fatores de relevância (Fr), o parâmetro final de análise pode ser definido como Grau de Deterioração da Estrutura (G_d) através da formulação proposta anteriormente por KLEIN et. al (1991), como mostra a Equação 2.11:

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

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

Com a obtenção do Grau de Deterioração da Estrutura, CASTRO (1994) determina intervalos de classificação para a estrutura analisada à nível global, atribuindo recomendações de medidas a serem tomadas de acordo com o G_d . A Tabela 2-5 a seguir apresenta tais relações.

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, não excluindo a possibilidade de danos isolados em estruturas globalmente boas precisarem de intervenção imediata (CASTRO, 1994).

2.2.3. VERLY (2015)

Como foco de seu trabalho, o autor buscou comparar a metodologia GDE/UnB com a metodologia SGO/DNIT. Para isso, foram avaliadas as condições estruturais de 22 Obras de Arte Especiais na cidade de Brasília – DF. Selecionou-se como objeto principal de estudo deste tópico, apenas os resultados da metodologia GDE/UnB.

Levando em conta que foram realizadas apenas inspeções visuais, não foi possível avaliar os danos por carbonatação e contaminação por cloretos, logo, foram retirados das fichas de

avaliação na pesquisa desenvolvida. Utilizou-se das famílias propostas por Euqeres (2011), sendo incluídas as travessas e transversinas que acompanham fator de relevância estrutural de 5 e 3, respectivamente. Além disso, 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.

No trabalho de Verly (2015), são apresentadas tabelas que descrevem as características dos danos para cada fator de intensidade, permitindo um auxílio de grande importância na padronização da metodologia pelos responsáveis pela inspeção. As Tabelas 2-6 e 2-7 apresentam tais informações.

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

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

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

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

Após ser revisado por Verly (2015), que se baseou na NBR 6118:2014, o Roteiro de Inspeção de Pontes de Concreto Armado, atualizado por Euqueres (2011) foi intitulado como Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB em OAEs e passou a ser um guia da metodologia. A Tabela 2-8 mostra os resultados obtidos para ambas as metodologias analisadas, sendo para a metodologia GDE/UnB atribuída uma coluna para os G_d^* , considerando todos os valores de G_{de} e outra coluna para o 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 comparar os resultados, o autor identificou que os dois valores de G_d deram 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 $G_{de} < 15$. Sendo assim, considerou-se G_d como os mais condizentes para as propostas de intervenções e necessidade de manutenção.

Com base no estudo estatístico, no qual foi feita a análise de consistência dos dados coletados, percebeu-se que o equacionamento do grau de deterioração da estrutura não é consistente quando os números de patologias crescem ou diminuem, devido à média ponderada aplicada a influência do fator de ponderação em questão. Com isso, Verly (2015) propôs uma nova formulação do grau de deterioração estrutural (G_d), conforme apresentado pela 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

Sendo,

k o número de famílias da estrutura;

K o produto do G_{dfi} , pelo respectivo F_r ;

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

A Tabela 2-9 apresenta os cálculos refeito 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

Observando que os valores $G_{d.mod}^*$ agora se apresentam maiores que os valores de $G_{d.mod}$, conclui-se que a formulação nova tem resultados mais coerentes com a avaliação. Sendo assim, a Equação 2.12 permite a aplicação da metodologia GDE/UnB também em estruturas com baixo nível de deterioração, fazendo com que os danos de valor baixo também sejam considerados na análise.

Portanto, baseando-se nas concepções propostas por Verly (2015), foi possível concluir que a metodologia GDE/UnB se mostra mais abrangente do que a SGO/DNIT, 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 buscou aplicar a metodologia GDE/UnB, na inspeção e na apresentação de resultados, conforme suas últimas modificações da literatura. Sendo isso feito na avaliação de todos os viadutos das entrequadras que contemplam o Eixo Rodoviário Sul da cidade de Brasília – DF, sendo os viadutos subdivididos entre as pistas do Eixo W, Eixo Central e Eixo L totalizando 24 viadutos.

Levando em conta que as inspeções aplicadas tiveram caráter apenas visual, os danos de carbonatação do concreto e contaminação por cloretos elencados nas fichas do Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OAEs de Verly (2015) não foram contemplados por necessitarem de amostra e ensaios de laboratório específicos.

LAURIA (2018) propôs a adição do dano abrasão na ficha de inspeção, sendo que tal dano consiste no resultado do arrasto de elemento externo móvel contra a estrutura, uma vez que esse arrasto pode ser ocasionado pela água ou por veículos chocando com algum elemento estrutural ou arrastando a sua parte superior na Obra de Arte Especial. A motivação para essa adição se deu pela recorrência de tal dano nos viadutos analisados no trabalho, sendo relativamente baixos e funcionando com elevado fluxo de veículos.

Objetivando caracterizar o dano que foi inserido na metodologia, atribuiu-se um fator de ponderação e de influência em função dos fatores de comprometimento de estética, funcionalidade, segurança e gravidade da manifestação na estrutura. Posto isso, foi atribuído um fator de ponderação $F_p = 3$, uma vez que a ocorrência do dano diminui a cobertura de

concreto da estrutura fragilizando-a. LAURIA (2018) define os fatores de intensidade para o dano de abrasão conforme segue:

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

Para divisão de famílias e fatores de relevância das mesmas nas OAEs consideradas no trabalho, LAURIA (2018) fez uso de inspeções visuais e consultas à projetos do Arquivo Público de Brasília de modo a constatar a seguinte proposição:

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

Para o desenvolvimento das inspeções e das análises, algumas famílias tiveram seus elementos divididos em direções cardeais. Como cada par de quadra possui 3 viadutos a serem avaliados, nomeadas de Eixão, Eixo L e Eixo W, a família de guarda-rodas foi dividida entre os elementos guarda-rodas L, W e C. A cortina foi dividida em cortina norte L, cortina norte W, cortina sul L e cortina sul W. A cortina central foi dividida entre central norte e central sul, dado que esse elemento foi separado por ter um fator de relevância maior. As Figuras 2.11 e 2.12 abaixo demonstram a divisão dos elementos dos viadutos do Eixo L, W e Eixão.

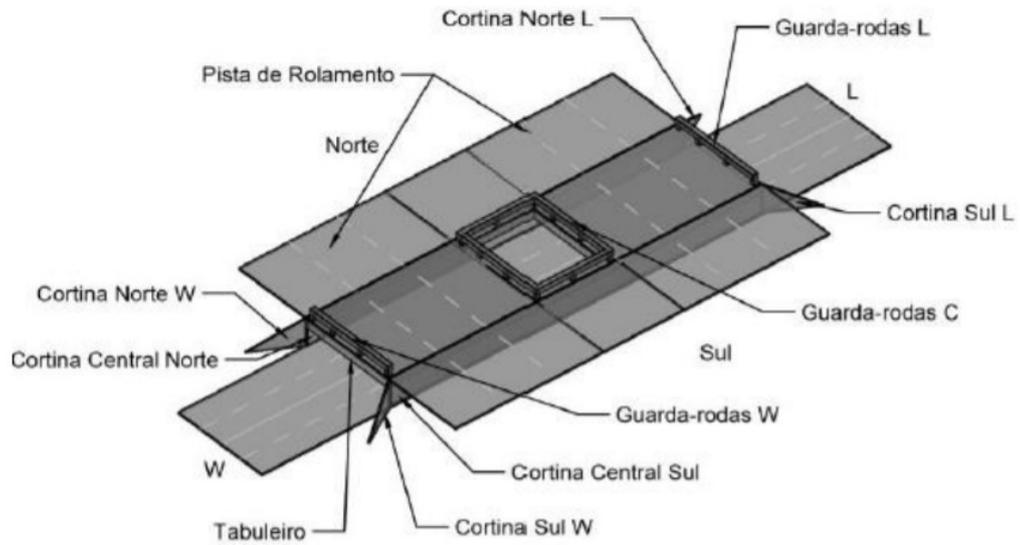


Figura 2.11: Elementos dos viadutos dos Eixos L e W (LAURIA, 2018)

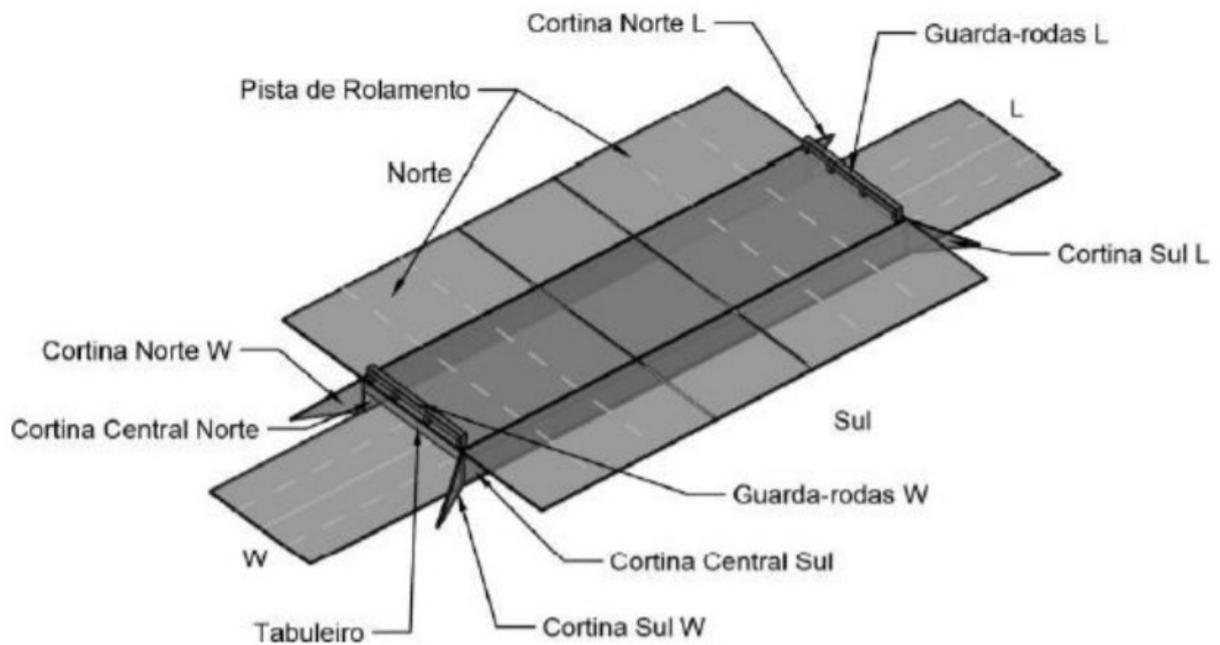


Figura 2.12: Elementos dos viadutos do Eixão (LAURIA, 2018)

O estudo, baseado no que foi proposto por VERLY (2015), seguiu o Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais. Portanto, avaliou o valor de G_d para dois casos, considerando e não considerando os valores de G_{de} menores que 15 no cálculo do grau de deterioração da família (G_{df}). Segue na Tabela 2-10 o resumo dos resultados alcançados com o trabalho para os 24 viadutos analisados por LAURIA (2018), utilizando a metodologia GDE/UnB.

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

Não houveram grandes distorções entre os resultados de G_d^* e G_d para o estudo que foi feito, segundo LAURIA (2018), uma vez que a diferença máxima foi de 1,2. Tendo isso em vista, o resultado considerado foi o que leva todos os valores de G_{de} na formulação. Dessa forma, 21%

dos viadutos foram classificados em estado sofrível, recomendando-se intervenção em no máximo 6 meses, enquanto outros 29% encontravam-se com nível de deterioração alto (intervenção em 1 ano, no máximo) e os 50% restantes obtiveram classificação média de deterioração, permitindo manutenção em até dois anos. O resultado geral foi considerado satisfatório, uma vez que evidencia muito bem a realidade dos viadutos inspecionados. Com isso, além da contribuição para o método de inspeção, é possível utilizar tais resultados como base para tomadas de decisão e planos de manutenção para as obras analisadas.

2.2.5. PAVONI (2019)

De forma semelhante a Lauria (2018), o autor aplicou a metodologia GDE/UnB em todos os viadutos das entrequadras no 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.

Conforme proposto pelo trabalho de Lauria (2018), o autor também utilizou o dano abrasão, para aumentar o nível de detalhamento das análises de deterioração nas estruturas inspecionadas por ele. Sendo assim, PAVONI (2019) considerou o mesmo fator de ponderação ($F_p = 3$) e fatores de intensidade que Lauria (2018), conforme apresentado a seguir:

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

Além disso, ele também utilizou os mesmos fatores de relevância:

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

Para se obter um maior nível de detalhamento e seguir o padrão já feito nos viadutos das entrequadras do Eixo Rodoviário Sul, PAVONI (2019) fez a divisão de algumas famílias de elementos. A família de guarda rodas ganhou denominação L, W e C em função da direção cardinal leste, oeste ou central do viaduto. A família de cortina foi dividida seguindo duas

direções cardiais, norte ou sul e L ou W. A cortina central foi dividida em cortina central norte e cortina central sul.

Seguindo o Manual de Aplicação de Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais proposto por VERLY (2015) e com as considerações de LAURIA (2018), PAVONI (2019) avaliou 24 OAEs sendo feito o cálculo para dois casos, considerando e não considerando os valores de G_{de} menores que 15 no cálculo de grau de deterioração da família (G_{df}). Os resultados obtidos são apresentados abaixo Tabela 2-11.

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

Analisando os resultados e constatando que a diferença máxima entre os valores G_d e G_d^* foi 7,70, o autor optou por adotar os valores do G_d para as considerações finais, que inclui todos os valores de G_{de} no cálculo.

Além disso, levando em conta que Santiago & Azevedo (2012) executaram a avaliação das mesmas Obras de Arte Especiais em 2012, o autor realizou um comparativo de resultados do estudo feito em 2019. Vale ressaltar que para se fazer o comparativo de modo verdadeiramente pareado, os dados fornecidos por Pavoni (2019) sofreram adaptação de fórmula, em que se substituiu a formulação de Verly (2015) dado pela Equação 2.17, para o da Equação 2.11, proposta por Castro (1994). Esse comparativo é apresentado na Tabela 2-12.

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

Quadra	Viaduto	G_d^* (Santiago & Azevedo, 2012)	G_d^* (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

Ainda segundo o autor, a comparação mostra uma divergência entre os resultados de 2012 e os de 2019. Embora haja certa influência da subjetividade dos avaliadores durante as inspeções técnicas e na atribuição dos fatores de intensidade do dano, as diferenças foram significativas, resultando na alteração de classificação do nível de deterioração das OAEs, em muitos casos.

Vale salientar que como forma de auxiliar os trabalhos futuros e buscar reduzir a subjetividade do processo, PAVONI (2019) elaborou um anexo com as diretrizes para avaliação de fatores de intensidade. Neste anexo foram colocados os principais danos presentes nas vistorias e seus fatores de intensidade (F_i) com exemplos fotográficos, auxiliando na tomada de decisões para as inspeções deste trabalho.

2.3. PESQUISAS RELACIONADAS AO TEMA

Com o intuito de reduzir a subjetividade da inspeção de patologias e conseqüentemente a análise da deterioração das estruturas estudadas, buscou-se consolidar ainda mais a metodologia abordada. Nesse sentido, seguem as revisões realizadas na bibliografia técnica disponível.

2.3.1. ANDRADE (1997)

O trabalho propôs um levantamento de inspeções contínuo e elabora um banco de dados da condição de edifícios no estado de Pernambuco entre os anos de 1978 e 1996. Dentre os edifícios vistoriados, um foi selecionado para aplicação da metodologia GDE/UnB na avaliação do grau de deterioração da estrutura.

No edifício selecionado, de característica residencial, inspecionou-se apenas pilares, vigas da garagem, fachada e aparelhos de apoio na garagem em função da dificuldade de acesso aos demais elementos estruturais situados no interior dos apartamentos. Sendo assim, 44 elementos foram inspecionados, sendo 18 pilares, 16 vigas e 10 aparelhos de apoio. Tais inspeções foram feitas aplicando a metodologia de CASTRO (1994) e obteve-se $G_d = 95,2$, ou seja, grau de deterioração estrutural classificado como crítico, com necessidade imediata de intervenção para reestabelecimento da funcionalidade e segurança ao edifício, conforme classificação do método utilizado. A Tabela 2-13 dispõe os resultados obtidos por ANDRADE (1997) na estrutura inspecionada:

Tabela 2-13: Resultados obtidos (ANDRADE, 1997)

Família de elementos	G_{df}	F_r	G_{df} · F_r
Pilar	109,48	5	547,4
Viga	67,12	5	335,63
Aparelho de apoio	112,39	4	449,56
	Total	14	1332,59
		G_d =	95,2

Foram apontados, pelo autor, como os principais motivos para a situação da edificação: a falta de controle de qualidade na execução da obra no que se refere à materiais e mão de obra, falhas na concepção de projeto, falta de manutenção preventiva na estrutura. Tendo em mente que o ambiente da região é caracterizado por altas temperaturas e umidades relativas, a condição ambiental é agressiva ao concreto armado, fazendo-se necessárias manutenções para a continuidade das condições de serviço e vida útil da edificação.

2.3.2. LOPES (1998)

O autor fez uso da metodologia GDE/UnB para complementar o sistema de vistoria técnica predial praticado pelo Branco do Brasil S.A formando um banco de dados do sistema SISCOP. Sendo assim, o trabalho abrangeu a verificação da condição de seis prédios de uso comercial cuja propriedade era do Banco do Brasil S.A. na época, edifícios localizados nas cidades de Porto Alegre, Santo Amaro, Rio de Janeiro – dois edifícios, Salvador e Brasília.

Entretanto, para tornar o método mais abrangente dentro do escopo utilizado e visando facilitar a aplicação autor propôs algumas modificações. Uma delas foi a retirada da família de juntas de dilatação, em razão da constatação de que seu uso como família era indevido podendo levar a erros de inspeção, em virtude das juntas ocorrem nas adjacências de componentes estruturais que consistem em famílias, tais como pilares, vigas e lajes. Dessa forma, a avaliação das juntas passou a constar na metodologia como danos referentes a juntas, dentro das demais famílias.

Paralelamente a isso, o autor também unificou os danos antes identificados como recalques e deslocamentos da estrutura, tornando-se recalque/deslocamento. O dano de corrosão que era, originalmente, denominado mancha de corrosão, sofreu a alteração para englobar todos os estágios da corrosão propriamente dita. Vale destacar também que foram acrescentados os danos deformação lenta/fluência, sobrecarga, agressão ambiental e junção de elementos. Com isso, fez-se necessária a apresentação de revisões e proposições para fatores de ponderação (F_p). A Tabela 2-14 a seguir relaciona os fatores de ponderação propostos por LOPES (1998).

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

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

Outra alteração proposta pelo autor se refere ao procedimento de cálculo do grau de deterioração de elemento. Enquanto a formulação original de CASTRO (1994) adotava o maior grau de dano em casos de até dois danos e caso passasse dessa quantidade, fazia-se a soma da média dos demais, LOPES (1998) propõe alterações no equacionamento matemático, acreditando que o crescimento da deterioração do elemento quando novos danos são causados não estava sendo devidamente representada. Segue a formulação proposta pelo autor:

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \cdot \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_{(i)} - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m D_{(i)}} \right) \quad \text{Equa\c{c}\~{a}o 2.12}$$

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.

Tal expressão, assim como o equacionamento original da metodologia GDE/UnB, possui a mesma tendência máxima de valor próximo  200. Porém, o crescimento do grau de deteriorao do elemento  mais gradual, independentemente do número de danos, não chegando ao valor máximo com apenas três danos como anteriormente era possível.

LOPES (1998) recomenda a realizao de alguns ensaios durante a inspeo, uma vez que algumas avaliaoes demandam investigao mais detalhada da estrutura avaliada. Como danos citados que dependem da realizao de ensaios, tem-se cobertura de armaoes, profundidade de carbonatao e presença de cloretos.

Posteriormente foi realizado um levantamento de áreas para melhorar a análise dos resultados obtidos. Segue Tabela 2-15 com os resultados enunciados para as edificaoes avaliadas por Lopes (1998).

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

Prédio (UF)	RS	SP	RJ i	RJ ii	BA	DF
rea construída (m ²)	11.399	31.090	56.679	10.966	27.577	24.979
ndice de degradao	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 deteriorao da estrutura	48	39	59	42	120	50
Nível de deteriorao da estrutura	Alto	Médio	Alto	Alto	Crítico	Alto

A aplicao da metodologia alterada segundo proposioes de LOPES (1998) gerou resultados que constataram eficiência da caracterizao do grau de deteriorao dos edificios inspecionados além de recomendar, com embasamento, aoes e planos de manuteno para

garantia do desempenho e funcionalidade, promovendo ainda o acompanhamento do nível de deterioração com inspeções temporais.

2.3.3. BOLDO (2002)

O trabalho consistiu no uso da metodologia de CASTRO (1994) para a avaliação da deterioração estrutural de 40 edificações de propriedade do exército brasileiro ao redor do país. As inspeções foram feitas por técnicos dos órgãos do exército sob supervisão do autor. O resultado mostrou que, de forma geral, o estado das edificações em concreto armado avaliadas foi positivo, além de mostrar o potencial da metodologia aplicada.

Foi proposto que o nome dado originalmente ao “Caderno de Inspeção para Estruturas de Concreto” fosse alterado para “Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto” para evidenciar a relevância do uso rigoroso do mesmo durante as inspeções. Além disso, ao longo do desenvolvimento do trabalho houveram questionamentos sobre alguns pontos da metodologia GDE/UnB que levaram ao aperfeiçoamento de alguns pontos. Sendo assim, houve o incremento de informações para que a execução das vistorias pudesse ser feita sem consultas a outros documentos.

O autor agregou ao documento conceituações e definições normativas referentes aos danos analisados e respectivos fatores de intensidade, além de imagens ilustrativas das manifestações dos danos com respectivos fatores de intensidade para melhor identificação e caracterização das patologias na inspeção.

Foram feitas as seguintes mudanças relacionadas aos danos e famílias: incremento do dano de sinal de esmagamento com fator de ponderação de 8 nos elementos de vigas e escadas/rampas e 10 nos elementos de blocos de fundação e elementos de composição arquitetônica; eflorescência nas lajes teve seu valor alterado de 3 para 5; elemento de junta de dilatação passaram a ter somente os danos de infiltração e obstrução da junta, ambos com máximo fator de ponderação ($Fp = 10$); dano de ligação deficiente à estrutura foi retirado do método aplicado, devido à planilha de elementos de composição arquitetônica. Além disso, o dano mancha passou a ter três fatores de intensidade diferentes, sendo levado em consideração a área que atinge a superfície do concreto, medido em porcentagem e o fator de relevância estrutural para o elemento de junta de dilatação passou a ser igual a 3.

Com relação as formulações propostas na metodologia GDE/UnB, foi adotado o mesmo cálculo do grau de deterioração do elemento usado por LOPES (1998) que propôs alteração em seu trabalho. O grau de deterioração da família foi alterado por BOLDO (2002) seguindo os mesmos princípios da proposição de alteração de LOPES (1998), promovendo uma visão mais realista ressaltando os elementos de piores condições. Para o cálculo do G_{df} , foi considerado apenas os elementos com grau de deterioração do elemento maior ou igual a 15, lembrando que, caso todos sejam menores que 15, o grau de deterioração da família resulta em 0. Com isso, a formulação proposta por BOLDO (2002) para o cálculo do grau de deterioração da família ficou da seguinte forma:

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

Sendo,

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 $G_{de} \geq 15$.

Com base em trabalhos anteriores, BOLDO (2002) define a periodicidade de inspeções para um ano, três anos e cinco anos após a entrega da obra, considerando os custos dos reparos de 35%, 65% e 82%, respectivamente, em relação ao valor da obra.

BOLDO (2002) propôs ainda mudança na classificação dos níveis de deterioração de elementos e da estrutura, objetivando melhorar o entendimento das medidas a serem tomadas. As Tabelas 2-16 e 2-17 apresentam a nova classificação proposta.

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.

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

Tabela 2-18: Prazos máximos para intervenção em função da classificação nos níveis de deterioração (BOLDO 2002)

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

As modificações propostas foram aplicadas na avaliação do Hospital Geral de São Paulo, utilizando a metodologia GDE/UnB com o objetivo de comparar os resultados e visualizar os efeitos das modificações sugeridas. A partir disso, foi possível observar que os valores de G_{de} encontrados foram parecidos, apresentando maiores divergências quando tinham mais de 2

danos nos elementos. Enquanto no cálculo de G_{df} houveram diferenças significativas, devido ao fato de que o maior G_{de} tenha sido ressaltado na análise, assim como o previsto, influenciando em uma intervenção em menor prazo, sendo considerado benéfico.

2.3.4. PESSOA (2002)

O autor utilizou a metodologia GED/UnB como um dos métodos aplicados na avaliação da condição de preservação estrutural Catedral de Brasília, utilizando a modelagem estrutural completa, objetivando uma proposta de manutenção preventiva para a edificação. A metodologia aplicada levou em consideração as proposições e alterações feitas por BOLDO (2002).

A fim de se obter uma análise mais detalhada da catedral, o monumento foi dividido em quatro partes, sendo eles: a nave da catedral, o espelho d'água, o batistério e o campanário. A avaliação da nave foi feita considerando as famílias de pilares, lajes e anel. Já o espelho d'água foi dividido em famílias de pilares, vigas, lajes e juntas. Para o batistério foi possível avaliar somente a família de lajes. Por fim, no campanário da catedral foi considerado somente a família de pilares.

A Tabela 2-19 resume os resultados finais para o grau de deterioração estrutural das quatro partes avaliadas na Catedral de Brasília por PESSOA (2002) e apresenta a aplicação da proposição de BOLDO (2002) para o prazo de intervenção de manutenção na estrutura.

Tabela 2-19: Resumo de resultados da metodologia GDE/UnB – Catedral de Brasília (PESSOA, 2002)

Família de elementos	G_d	Nível de Deterioração	Prazo para intervenção
Nave	15	Médio	2 anos
Espelho d'água	68	Crítico	Imediata
Batistério	37	Médio	2 anos
Campanário	4	Baixo	Manutenção preventiva

A partir dos resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB foi possível desenvolver um programa de manutenção preventiva e corretiva para a estrutura da Catedral de Brasília, que é considerada uma estrutura não usual.

2.3.5. FONSECA (2007)

O trabalho consistiu no uso da metodologia GDE/UnB, na avaliação da situação física da estrutura de concreto do Instituto Central de Ciências (ICC) na Universidade de Brasília. Foi utilizada a última modificação na literatura da metodologia e proposto alguns pontos de aperfeiçoamento.

Dentre as alterações propostas pelo autor, tem a patologia anteriormente denominado de esfoliação que foi modificada para deslocamentos, com a finalidade de evitar confusão com desagregação. O dano segregação foi modificado para falha de concretagem. O dano intitulado de infiltração e infiltração na base foram modificados para umidade e umidade na base indicando penetração ou presença da mesma nos elementos estruturais. Além disso, na reformulação os danos de manchas e umidade foram incluídos nos possíveis danos aos elementos de composição arquitetônica.

De forma a referenciar a norma técnica vigente, os conceitos de cobertura deficiente, fissuração e flechas foram modificados em função da NBR 6118/2003. Além disso, os danos de carbonatação, contaminação por cloretos e cobertura deficiente foram alteradas no Roteiro de Inspeção de modo que fosse possível o agravamento temporal levando a condições de corrosão de armaduras.

Tabela 2-20: Reformulação de fatores de intensidade relacionados à corrosão (FONSECA, 2007)

Dano	F _i
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

Observando que a maioria dos fatores de ponderação empregados na última revisão da literatura por LOPES (1998) estava acima de 5, Fonseca (2007) propôs alterar a pontuação original da escala de 0 a 10 para a escala de 1 a 5. Para isso, a reformulação do equacionamento para o grau de dano (D) em um elemento ficou da seguinte forma:

$$D = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p \quad \text{para } F_i \leq 2 \quad \text{Equação 2.14}$$

$$D = (12 \cdot F_i - 28) \cdot F_p \quad \text{para } F_i \geq 3 \qquad \text{Equação 2.15}$$

Devido a nova escala e com o objetivo de considerar o avanço de outros danos para a corrosão, os fatores de ponderação de danos associados à corrosão de armações foram modificados: Corrosão – $F_p = 5$; Contaminação por cloretos – $F_p = 4$; Carbonatação – $F_p = 3$.

O dano de fissuras também foi adaptado com relação ao fator de ponderação variável com o tipo de fissura atuante, independentemente se a origem da fissura é estrutural ou estética. Os fatores de ponderação relacionados a fissuras podem variar de 2 a 5, sendo que caso se encontre em caso de 4 a 5 pode representar risco de ruptura frágil. O autor reuniu as fissuras mais comuns em tabelas com seus respectivos fatores de ponderação e as acrescentou ao Roteiro de Inspeção, como mostrado nas Tabelas 2-21, 2-22 e 2-23.

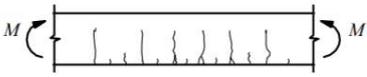
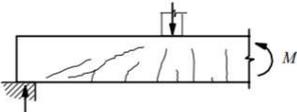
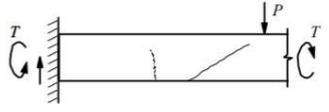
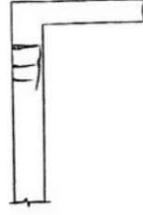
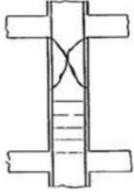
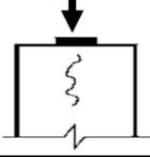
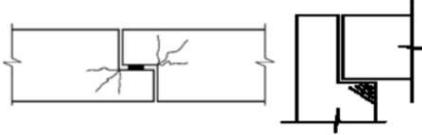
Tabela 2-21: Tipologia de fissuras de concreto armado - Estado Plástico (FONSECA, 2007)

	Fissuras	Descrição	Croquis	F_p
ESTADO PLÁSTICO	de retração plástica do concreto	<ul style="list-style-type: none"> - comuns em lajes e paredes - paralelas, superficiais e afastadas de 0,3 a 1 m. 		2
	de assentamento do concreto	<ul style="list-style-type: none"> - acompanham as armaduras - em pilares, ficam abaixo dos estribos; - interagem com armaduras vizinhas 		3
	de movimentação de fôrmas	<ul style="list-style-type: none"> - indicam mau posicionamento, má fixação ou resistência insuficiente de fôrmas e escoramentos 		3

Tabela 2-22: Tipologia de fissuras de concreto armado - Estado Endurecido (FONSECA, 2007)

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

Tabela 2-23: Tipologia de fissuras de concreto armado – Erros de projeto/execução ou cargas excessivas (FONSECA, 2007)

	Fissuras	Descrição	Croquis	F_p
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

Baseado na norma DNIT 010 – PRO (2004), que utiliza cinco níveis de deterioração, os níveis de deterioração de elemento e os de estrutura foram modificados com a inclusão de mais um nível na classificação. Tais alterações encontram-se na Tabela 2-24 na sequência.

Tabela 2-24: 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.

Além disso, o cálculo do grau de deterioração da família de elementos também sofreu alteração, devido ao fato do autor considerar que o equacionamento na prática superestima o estado real de um elemento em estado crítico, ainda mais quando se tem muitos elementos na estrutura. Segue a formulação da nova equação proposta, conforme Equação 2.17:

$$G_{df} = G_{demáx} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{demáx}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}}} \right) \quad \text{Equação 2.16}$$

Sendo,

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 $G_{de} \geq 15$.

Após a realização das alterações propostos à metodologia GDE/UnB, ela foi aplicada no ICC, subdividido em bloco e alas de análise. A Tabela 2-25 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 2-25: 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
Total		102	10114
$G_d=$		99	Sofrível

O resultado classifica a estrutura do Instituto Central de Ciências (ICC) como sofrível, requerendo, de acordo com a metodologia, intervenção no prazo máximo de 6 meses. Segundo FONSECA (2007) tal classificação é condizente com a realidade da edificação.

2.3.6. EUQUERES (2011)

O autor aplicou a metodologia GDE/UnB em pontes de concreto armado, considerando as últimas adaptações realizadas por FONSECA (2007) e algumas adaptações de adequação a estrutura normalmente utilizada em pontes.

Para isso, Euqueres (2011) considerou os seguintes elementos das pontes de concreto armado: pilares, vigas, laje, barreiras de defesa ou guarda-corpos, cortinas, blocos de fundação, pista de rolagem, juntas de dilatação e aparelhos de apoio. Devido a mudança de elementos com relação

às estruturas normalmente utilizados na metodologia empregada, houve necessidade de adaptação dos possíveis danos e seus respectivos fatores de ponderação obedecendo a escala de 1 a 5.

Os fatores de relevância F_r adotados foram:

- 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 $F_r = 5,0$

Também foi proposta uma nova classificação em níveis de deterioração estrutural, assim como os prazos de intervenção para manutenção para estar condizente com as necessidades específicas de estruturas de pontes. A Tabela 2-26 apresenta a classificação proposta.

Tabela 2-26: Classificação de níveis de deterioração adaptado para pontes (EUQUERES, 2011)

Nível de deterioração	G_{de} / G_d	Medidas a serem adotadas
Baixo	≤ 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.

Para validar as alterações, a metodologia GDE/UnB com as novas adaptações para pontes foi aplicada em estudo piloto, na ponte sobre o Rio Piracanjuba – GO. Inicialmente considerados apenas os resultados com G_{de} maior ou igual a 15, apenas a família de lajes foi levada em conta, sendo obtido um resultado final $G_d = 33,60$. Para este valor, a estrutura é considerada no estado médio, sendo recomendado uma intervenção em longo prazo de no máximo 2 anos. O autor

também efetuou o cálculo com todos os valores de G_{de} , obtendo o valor de $G_d = 17,06$, bem abaixo do anterior, porém ainda na classificação média.

A partir deste resultado, o trabalho seguiu adotando todos os valores de G_{de} , para definição do G_d , e não só aqueles maiores que 15. O estudo prosseguiu para outras 11 pontes do estado de Goiás, de modo a validar a metodologia adaptada. Os resultados das 11 estruturas analisadas variaram entre a classificação média e alta. Apesar da limitação de avaliação para pontes que superam 70 metros de extensão, Euqueres(2011) mostrou a eficiência do método com inspeções visuais.

2.3.7. SANTIAGO & AZEVEDO (2012)

O autor se propôs a avaliar os viadutos do Eixo Rodoviário Norte de Brasília, os mesmos avaliados novamente por PAVONI (2019). Sendo a relevância do trabalho como referência exaltada na análise dos resultados, com algumas comparações com os resultados obtidos entre 2012 e 2019.

O trabalho consistiu na aplicação da metodologia GDE/UnB com a adaptação para aplicação em Obras de Arte Especiais segundo o disposto por Euqueres (2011). Entretanto, os autores entenderam que as consequências para os danos no elemento pista de rolamento não eram tão graves estruturalmente para que tivessem fator de ponderação máxima ($Fp = 5$), como antes era adotado. Sendo assim, realizaram a seguinte proposta para o fator de ponderação (Fp) no elemento de pista de rolamento:

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

A divisão dos viadutos foi realizada da mesma forma que nos trabalhos de Lauria (2018) e Pavoni (2019), isto é, foram divididos em três: Viaduto Central – Eixo Rodoviário, Viaduto L – Eixo L e Viaduto W – Eixo W. Em cada viaduto foram considerados os elementos de barreiras de defesa, laje, pista e cortinas, a fim de avaliar e calcular os parâmetros necessários para obtenção do grau de deterioração estrutural.

Conforme metodologia original de CASTRO (1994), foram adotados apenas os valores de $G_{de} > 15$. Com isso, o resultado do grau de deterioração foi igual a zero para vários elementos de viadutos avaliados, não caracterizando de forma consistente o que é realmente apresentado na estrutura. Entretanto, essa consideração fez com que o grau de deterioração de outros elementos não diminuísse, aproximando o resultado da realidade. A Tabela 2-27 apresenta o resultado das inspeções de Santiago & Azevedo (2012).

Tabela 2-27: 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

Os autores consideraram que os resultados obtidos com a metodologia GDE/UnB foram capazes de representar o verdadeiro estado dos viadutos do Eixo Rodoviário Norte de Brasília, com classificações de nível de deterioração baixo, médio e alto, embora tenha tido casos com grau de deterioração nulo em função da consideração apenas de graus de deterioração de elementos maiores que 15.

2.3.8. ROSA (2014)

O autor buscou 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, objetivando a verificação da viabilidade de utilização da metodologia GDE/UnB no Sistema de Gestão de Obras – SGO – do DNIT. Para isso, foram inspecionados 13 viadutos localizados em Brasília – DF, utilizando a metodologia GDE/UnB segundo as últimas modificações e adequações para OAEs propostas na literatura e quantificou apenas o resultado do grau de deterioração da estrutura (G_d) que consideram somente os graus

de deterioração de elementos maiores que 15. A Tabela 2-28 apresenta os resultados obtidos por ROSA (2014).

Tabela 2-28: Resultados das metodologias SGO/DNIT E GDE/UnB (ROSA, 2014)

Viaduto	DNIT	GDE/UnB	
	(Nota Técnica)	G _d	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

Analisando os resultados obtidos e as percepções durante as inspeções, ROSA (2014) constatou que existe diferença de conceito de aplicação entre as metodologias: a metodologia GDE/UnB apresenta avaliação baseada no grau de deterioração estrutural que, por sua vez, diz respeito às patologias encontradas; a metodologia do DNIT, por outro lado, tem o viés de avaliar as condições de estabilidade da estrutura se baseando nos danos observados em elementos padrão. Para o autor, tais diferenças promovem distinção clara entre os métodos e acaba levando a um maior grau de conservadorismo da metodologia GDE/UnB em relação as condições da estrutura.

Também foi observado que há maior dificuldade na inspeção utilizando a metodologia DNIT, devido à falta de informações que embasassem a determinação de notas técnicas dos elementos. Sendo que isso foi melhor atendido na metodologia GDE/UnB por apresentar tabelas que oferecem grande ajuda no momento de quantificar os fatores de intensidade dos danos. Assim, ROSA (2014) concluiu que a metodologia GDE/UnB pode ser usada na avaliação de pontes e viadutos de concreto armado para englobar a SGO – DNIT e considerou a metodologia do DNIT mais suscetível a subjetividade do responsável pela inspeção devido à falta de padrão para balizamento.

3. METODOLOGIA

Como objetivo principal deste trabalho, a metodologia GDE/UnB foi aplicada considerando a especificidade da aplicação da mesma em Obras de Arte Especiais bem como as alterações e modificações realizadas pelos autores enunciados ao longo do capítulo 2, responsáveis pela criação e desenvolvimento da metodologia.

3.1. ABORDAGEM DA METODOLOGIA GDE/UNB

A metodologia GDE/UnB foi aplicada com base na sua última modificação na bibliografia técnica relacionada a viadutos e pontes (VERLY, 2015). Entretanto, tal aplicação ocorreu sem os danos Carbonatação e Contaminação por cloretos, devido a necessidade de amostras e ensaios de laboratório específicos. Paralelamente a isso, os danos Deslocamento por empuxo, Desvios de Geometria, Flechas, Impermeabilização deficiente, Obstrução de juntas de dilatação e Recalques também foram retirados da avaliação, devido à dificuldade de avaliá-los de forma visual e com certas limitações de acesso. Diante disso, as tabelas do Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB em OAEs de Verly (2015), apresentadas neste trabalho pelas Tabelas 2-6 e 2-7, foram utilizadas para a versão da Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Fatores de intensidade por danos adaptado de Verly (2015)

Tipos de danos	Valores de F_i
Infiltração de água	1 → indícios de umidade. 2 → pequenas manchas. 3 → grandes manchas. 4 → generalizada.
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.
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 esfrelamento do concreto.
Desplacamento	2 → pequenas escamações do concreto. 3 → lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura. 4 → lascamento acentuado com perda relevante de seção.
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%).
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.
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.

Além disso, foi adicionado o dano abrasão proposto por Lauria (2018) e utilizado constantemente o Catálogo de Danos propostos por Pavoni (2019) no Anexo F de seu trabalho. Com isso, definiu-se quais danos seriam avaliados e como seriam atribuídos seus F_i durante as inspeções.

Os cálculos da metodologia aplicada foram feitos utilizando as Equações 2.15 e 2.16 para definição do grau de dano em cada caso e o grau de deterioração do elemento foi calculado em acordo com a Equação 2.13. A partir dos fatores de relevância das famílias, o cálculo prossegue para o grau de deterioração da família (Equação 2.17) e, em seguida, para o grau de deterioração estrutural da obra analisada (Equação 2.12). São apresentadas as equações, formulações e suas respectivas referências, em ordem de cálculo para o método na Tabela 3-2.

Tabela 3-2: Resumo equações Metodologia GDE/UnB

Índice	Descrição	Formulação	Referência
2.15	Grau de Dano (D)	$D = 0,8 * Fi * Fp, para Fi \leq 2$	FONSECA (2007)
2.16		$D = (12 * Fi - 28) * Fp, para Fi \geq 3$	
2.13	Grau de Deterioração do Elemento (Gde)	$Gde = Dmáx * (1 + \frac{\sum_{i=1}^m (D(i) - Dmáx)}{\sum_{i=1}^m D(i)})$	LOPES (1998)
2.17	Grau de Deterioração da Família (Gdf)	$Gdf = Gdemáx * \sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m (Gde(i) - Gdemáx)}{\sum_{i=1}^m Gde(i)}}$	FONSECA (2007)
2.12	Grau de Deterioração da Estrutura (Gd)	$Gd = \frac{Kmáx}{7,07} * \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^k K(i)) - Kmáx}{\sum_{i=1}^k K(i)}}$ K é o produto do $G_{df,i}$ pelo respectivo F_r	VERLY (2015)

Já para a avaliação do estado das OAEs quanto ao seu Gd, utilizou-se a classificação dos níveis de deterioração de elemento e estrutura reformulados por Fonseca (2007), conforme recomendado no Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB em OAEs, apresentada anteriormente na Tabela 2-24. Isso se deve ao fato de que a citada classificação apresenta de forma bem definida os limites entre os diferentes níveis.

Tomando o embasamento de LAURIA (2018), foram utilizados os mesmos fatores de relevância estrutural das famílias de elementos da estrutura propostos na ficha de inspeção usada em seu trabalho, porém excluiu-se o elemento pista de rolamento e foram incluídos os elementos pilares, pilares-parede, longarina, transversina, usando os fatores de relevância de acordo com Verly (2015). Seguem os valores de Fr elencados para cada família.

- | | |
|------------------------------------|----------|
| ▪ Guarda-rodas | $Fr = 1$ |
| ▪ Cortina, Contenção, Transversina | $Fr = 3$ |
| ▪ Tabuleiro | $Fr = 4$ |
| ▪ Pilar, Pilar-Parede, Longarina | $Fr = 5$ |

Com isso, se procedeu com a análise utilizando a metodologia GDE/UnB para as OAEs selecionadas calculando os dois valores de grau de deterioração da estrutura ($G_d * e G_d$), isto é, considerando e desconsiderando, respectivamente, os valores de grau de deterioração de elementos (G_{de}) menores que 15.

Foram analisadas as seguintes famílias constituintes das Obras de Arte Especiais: tabuleiro, guarda-rodas, cortinas, longarinas, transversinas, pilares e vigas. Vale ressaltar que, devido as variações na distribuição e quantidades de elementos estruturais em cada Obra de Artes Especial analisada, foi necessário realizar separações específicas para diferentes estruturas, sendo isso feito de acordo com LAURIA (2018) e PAVONI (2019), os quais já haviam analisado viadutos do eixo rodoviário em Brasília buscando discretizar as estruturas para obtenção de resultados mais detalhados. Além disso, a identificação dos elementos foi feita com base nos elementos cardeais para diferenciação entre elementos da mesma estrutura.

3.2. OAEs SELECIONADAS PARA INSPEÇÃO

O escopo do trabalho consiste na avaliação completa das OAEs em Brasília, divididos entre 5 alunos da Universidade de Brasília, sendo este responsável pelo Lote 5 – 36 unidades no total.

- 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 com todas as OAEs selecionadas bem como a divisão feita entre a equipe de inspeções, sendo o presente trabalho correspondente às marcações de cor laranja e marrom, referentes às estruturas abordadas na primeira e segunda etapa, respectivamente. Vale ressaltar ainda a existência de várias OAEs, representadas pelos pontos de cor cinza, que não foram contemplados nesta divisão e podem ser elencadas como forma de sugestão para inspeções futuras.

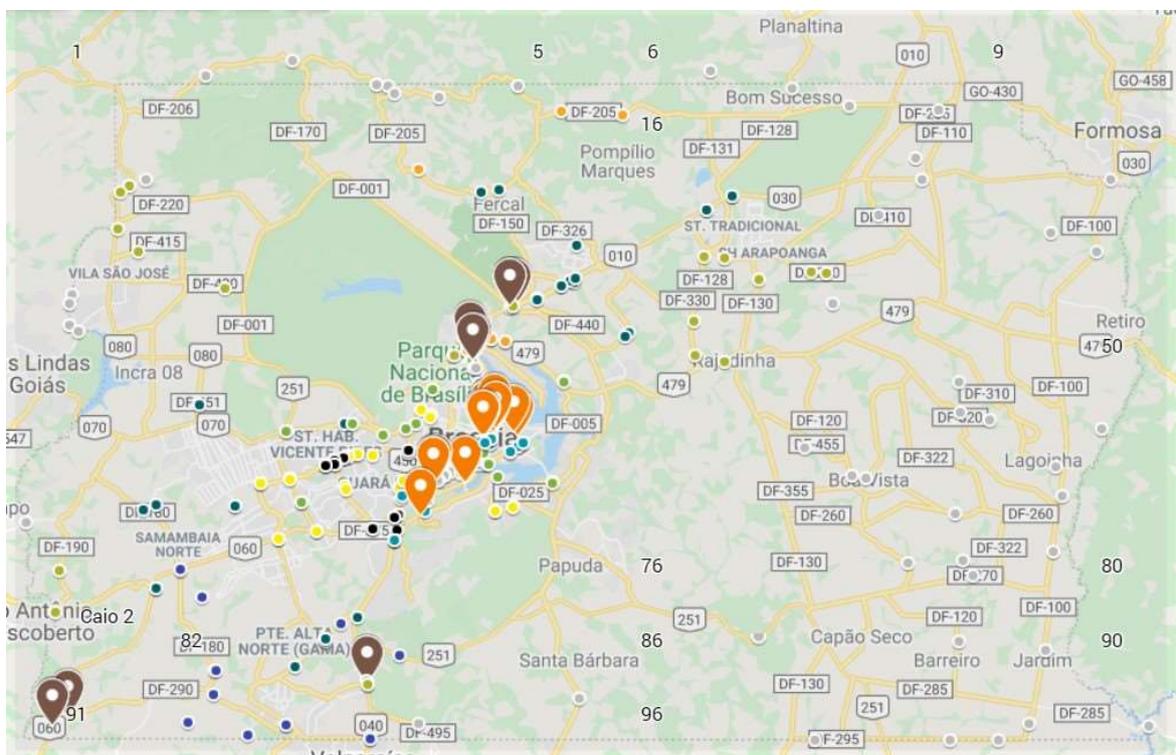


Figura 3.2: Mapa do Distrito Federal com as divisões das OAEs entre a equipe de trabalho (Retirado do Google Maps)

A inspeção foi segmentada em duas fases no escopo de projeto final do curso, sendo 25 OAEs na primeira etapa e outras 11 na segunda, como mostram as Tabelas 3-3 e 3-4, respectivamente. Serão apresentados de forma detalhada apenas os resultados do maior e do menor grau de deterioração (*Gd*), dentre as trinta e seis estruturas analisadas.

Tabela 3-3: OAEs selecionadas na primeira etapa do projeto

OAE	Descrição
055_785_00_07_V	Viaduto 2 na DF-004
055_785_95_48_V	Viaduto 1 na DF-004
055_787_01_01_V	Viaduto sobre o Eixo Monumental próximo à catedral
055_787_13_47_V	Viaduto L2 Norte próximo ao DNIT
055_787_55_70_V	Viaduto no Eixo Monumental próximo ao Bloco J
055_787_55_79_V	Viaduto L2 Norte paralelo à via do Ministério Bloco J
055_787_76_97_V	Viaduto sobre a L2 Norte Próximo ao BB
055_787_90_89_V	Viaduto L2 Norte próximo ao Ministério Bloco J
055_788_20_69_V	Viaduto na DF-002 Norte acesso Ministérios Norte
055_788_34_97_V	Viaduto na DF-002 Sul em frente ao BRB
055_788_44_48_V	Viaduto na DF-002 Buraco do TATU
055_788_44_84_V	Viaduto na DF-002 Rodoviária
055_788_45_57_V	Viaduto na DF-002 Sul em frente ao BRB 2
055_788_49_31_V	Viaduto na DF-002 Conjunto Nacional
055_788_52_25_V	Viaduto sobre a Via S2 próximo ao CONIC
055_788_64_32_V	Viaduto sobre a via S2 ao lado do Prédio Gilberto Salomão
055_788_74_37_V	Viaduto na DF-002 CONIC
055_788_82_84_V	Viaduto de acesso SHN sobre a DF-002
055_788_93_98_V	Viaduto sobre a DF-002 Norte acesso ao eixinho
064_789_21_90_V	Viaduto 1 sobre acesso a Ponte Costa e Silva
064_789_22_89_V	Viaduto 2 sobre acesso a Ponte Costa e Silva
064_792_14_62_V	Viaduto na DF-002 final da Asa Sul 1
064_792_44_19_V	Viaduto na DF-002 final da Asa Sul 3
064_792_65_45_V	Viaduto na DF-002 final da Asa Sul 2
064_793_23_90_V	Viaduto sobre a EPDB

Tabela 3-4: OAEs selecionadas na segunda etapa do projeto

OAE	Descrição
035_785_09_92_V	Viaduto 1 Colorado
035_786_63_96_V	Viaduto 2 TTN EPCT
035_786_65_18_V	Viaduto 1 TTN EPCT
044_789_40_86_V	Viaduto 1 TTN sobre a EPPN
044_789_73_24_V	Viaduto 2 TTN sobre a DF 004
044_789_78_78_V	Viaduto 1 TTN sobre a DF 004
044_789_86_12_V	Viaduto de Saída Eixao TTN 1
064_792_88_47_V	Viaduto Saída Sul na DF-002 próximo SQS 16
091_825_00_67_V	Viaduto 1 na BR-060 sobre a DF-290
091_825_94_40_V	Viaduto 2 na BR-060 sobre a DF-290
094_798_38_26_V	Viaduto 1 na BR040 entrada Santa Maria

3.3. PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO

Para as análises, foi necessário um período de alinhamento junto aos demais participantes do trabalho para poder treinar a equipe de inspeção e calibrar a aplicação da metodologia GDE/UnB, sendo feitas reuniões semanais e discussões a respeito das conclusões de cada um, em busca de diminuir a subjetividade da metodologia. Após balizamento e avaliação das OAEs, criou-se um banco de dados de fotografias dos danos das estruturas, para que discussões e revisões pudessem ser feitas de forma mais efetiva. Paralelamente a isso, foram adicionadas as informações em planilhas programadas de modo que, entre outros parâmetros, o grau de deterioração da estrutura fosse gerado como resposta final.

As inspeções visuais foram feitas por pelo menos duas pessoas juntas, uma delas sendo responsável pelo preenchimento da ficha de inspeção elaborada com os respectivos danos encontrados em cada elementos das OAEs e outro indivíduo responsável pelo registro fotográfico. Para as análises, foi necessário um período de alinhamento junto aos demais participantes do trabalho para poder treinar a equipe de inspeção e calibrar a aplicação da metodologia GDE/UnB, sendo feitas reuniões semanais e discussões a respeito das conclusões de cada um, em busca de diminuir a subjetividade da metodologia.

Após balizamento e avaliação das OAEs, criou-se um banco de dados de fotografias dos danos das estruturas, para que discussões e revisões pudessem ser feitas de forma mais efetiva. Além disso, foram adicionadas as informações em planilhas programadas onde o grau de deterioração da estrutura fosse gerado automaticamente, evitando-se erros de cálculos.

É válido lembrar que foi possível realizar todas as inspeções deste lote, entretanto algumas OAEs de outros lotes, ou parte delas, foram impossibilitadas de serem acessadas, pois necessitaria de equipamentos mais sofisticados, para vencer barreiras físicas e garantir a segurança dos responsáveis pela vistoria.

Para obter condições de avaliação e registro mais seguras e menos conturbadas pelo tráfego de veículos, as inspeções ocorreram normalmente em horários pouco movimentados, focado nos fins de semana, no turno da manhã ou começo da tarde. Foram utilizados capacetes, botas e coletes refletivos, em atendimento à segurança do trabalho. A ficha de inspeção foi impressa para identificação, quantificação e análise das patologias encontradas. Utilizou-se câmera fotográfica digital para registrar e catalogar os danos evidenciados por famílias em cada viaduto inspecionado.

4. RESULTADOS

As inspeções foram realizadas no Lote 5, composta por 36 Obras de Artes especiais descritas abaixo, sendo que para apresentação dos resultados, escolheu-se a OAE com maior G_d e com o menor G_d . Os resultados gerais encontrados para o grau de deterioração estrutural analisados neste trabalho estão apresentados na Tabela 4-1 a seguir, sendo apresentando os valores de G_d e G_d^* . O primeiro considera todos os números no cálculo enquanto o segundo considera apenas os elementos $G_{de} \geq 15$.

Tabela 4-1: Resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB em OAEs do Lote 5 – Brasília, DF

OAE	Descrição	Gd	Gd*	Gd-Gd*	Estado de Conservação
035_785_09_92_V	Viaduto 1 Colorado	22,89	18,3	4,59	Médio
035_786_63_96_V	Viaduto 2 TTN EPCT	24,58	24,02	0,56	Médio
035_786_65_18_V	Viaduto 1 TTN EPCT	2,76	0	2,76	Baixo
044_789_40_86_V	Viaduto 1 TTN sobre a EPPN	4,35	0	4,35	Baixo
044_789_73_24_V	Viaduto 2 TTN sobre a DF 004	0,83	0	0,83	Baixo
044_789_78_78_V	Viaduto 1 TTN sobre a DF 004	2,38	0	2,38	Baixo
044_789_86_12_V	Viaduto de Saída Eixao TTN 1	3,06	0	3,06	Baixo
064_792_88_47_V	Viaduto Saída Sul na DF-002 próximo SQS 16	5,31	0	5,31	Baixo
091_825_00_67_V	Viaduto 1 na BR-060 sobre a DF-290	3,3	0	3,3	Baixo
091_825_94_40_V	Viaduto 2 na BR-060 sobre a DF-290	5,42	0	5,42	Baixo
094_798_38_26_V	Viaduto 1 na BR040 entrada Santa Maria	3,33	0	3,33	Baixo
055_785_00_07_V	Viaduto 2 na DF-004	4,71	0	4,71	Baixo
055_785_95_48_V	Viaduto 1 na DF-004	7,46	0	7,46	Baixo
055_787_01_01_V	Viaduto sobre o Eixo Monumental próximo à catedral	29,16	25,98	3,18	Médio
055_787_13_47_V	Viaduto L2 Norte próximo ao DNIT	11,46	4,11	7,35	Baixo
055_787_55_70_V	Viaduto no Eixo Monumental próximo ao Bloco J	12,74	0	12,74	Baixo
055_787_55_79_V	Viaduto L2 Norte paralelo à via do Ministério Bloco J	11,35	0	11,35	Baixo
055_787_76_97_V	Viaduto sobre a L2 Norte Próximo ao BB	11,24	6,09	5,15	Baixo
055_787_90_89_V	Viaduto L2 Norte próximo ao Ministério Bloco J	11,29	0	11,29	Baixo
055_788_20_69_V	Viaduto na DF-002 Norte acesso Ministérios Norte	19,24	19,09	0,15	Médio
055_788_34_97_V	Viaduto na DF-002 Sul em frente ao BRB	5,84	0	5,84	Baixo
055_788_44_48_V	Viaduto na DF-002 Buraco do TATU	14,26	11,88	2,38	Baixo
055_788_44_84_V	Viaduto na DF-002 Rodoviária	4,08	0	4,08	Baixo
055_788_45_57_V	Viaduto na DF-002 Sul em frente ao BRB 2	0,91	0	0,91	Baixo
055_788_49_31_V	Viaduto na DF-002 Conjunto Nacional	3,7	0	3,7	Baixo
055_788_52_25_V	Viaduto sobre a Via S2 próximo ao CONIC	3,91	0	3,91	Baixo
055_788_64_32_V	Viaduto sobre a via S2 ao lado do Prédio Gilberto Salomão	1,26	0	1,26	Baixo
055_788_74_37_V	Viaduto na DF-002 CONIC	1,87	0	1,87	Baixo
055_788_82_84_V	Viaduto de acesso SHN sobre a DF-002	36,03	31,45	4,58	Médio
055_788_93_98_V	Viaduto sobre a DF-002 Norte acesso ao eixinho	64,02	60,41	3,61	Alto
064_789_21_90_V	Viaduto 1 sobre acesso a Ponte Costa e Silva	72,35	68,81	3,54	Alto
064_789_22_89_V	Viaduto 2 sobre acesso a Ponte Costa e Silva	61,61	60,63	0,98	Alto
064_792_14_62_V	Viaduto na DF-002 final da Asa Sul 1	10,53	0	10,53	Baixo
064_792_44_19_V	Viaduto na DF-002 final da Asa Sul 3	10,26	0	10,26	Baixo
064_792_65_45_V	Viaduto na DF-002 final da Asa Sul 2	3,68	0	3,68	Baixo
064_793_23_90_V	Viaduto sobre a EPDB	23,05	20,03	3,02	Médio

Ao analisar os resultados relacionados, pode-se perceber que, entre os valores de G_d e G_d^* , não há uma diferença tão significativa, com valor máximo de 12,74, uma vez que mantém a estrutura dentro da mesma avaliação. Como os valores continuam próximos e as análises não possuem grandes discrepâncias, considerou-se para este trabalho a utilização do G_d , ou seja, utilizando todos os valores de G_{de} e conclui-se, então, que não há necessidade de avaliação de ambos os valores para cada Obra de Artes Especial.

Além da constatação anterior, é possível perceber que a maioria das OAEs avaliadas se encontram no nível baixo de deterioração, sendo 75% do total e destacando-se o Viaduto 2 TTN sobre a DF 004, que obteve o menor valor de grau de deterioração, com $G_d = 0,83$. Para esses casos são recomendados apenas manutenções preventivas, conforme Tabela 2-24, proposta por Fonseca (2007) e usada por Verly (2015). Em segundo, 17% se encontram no nível médio de deterioração, sendo recomendado manutenção em até 2 anos. Para o nível alto, encontram-se 8% dos casos, sendo estipulado manutenção em até 1 ano. Não foi obtido nenhum valor referente aos estados sofrível e crítico que recebem as recomendações de intervenção em até 6 meses e imediata, respectivamente. Destaca-se o Viaduto 1 sobre acesso à Ponte Costa e Silva, que obteve o maior G_d encontrado pelo trabalho, com valor de 72,35. A Figura 4.1 a classificação das OAEs do Lote 5.

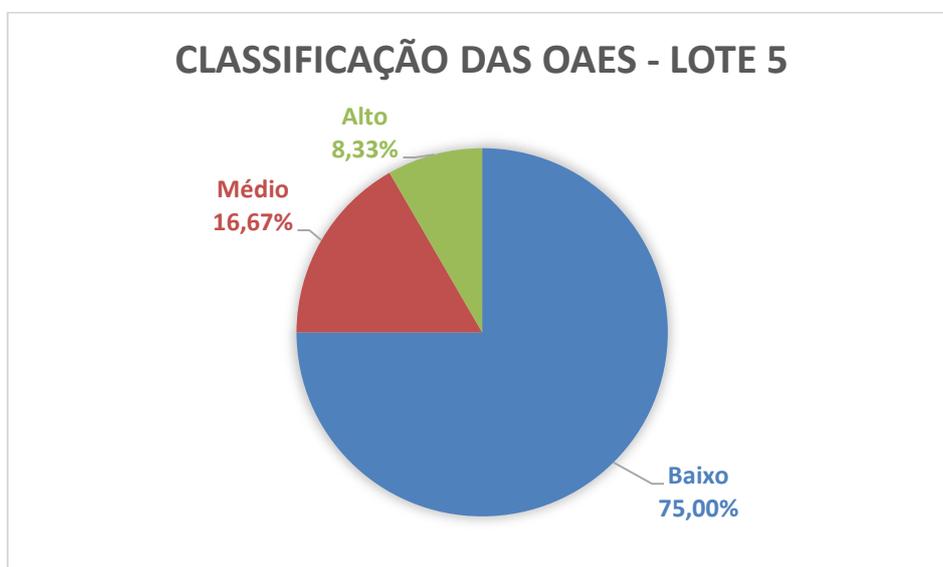


Figura 4.1: Classificação das OAEs - Lote 5

Em seguida, detalham-se os resultados para o Viaduto 1 sobre acesso à Ponte Costa e Silva (064_789_21_90_V), que obteve o maior G_d da pesquisa, e o Viaduto 2 TTN sobre a DF 004 (044_789_73_24_V), com o menor valor G_d encontrado.

4.1. RESULTADOS PRINCIPAIS

4.1.1. Viaduto 1 sobre acesso à Ponte Costa e Silva

O viaduto foi dividido entre os seguintes elementos: 2 guarda-rodas, 6 pilares e 4 tabuleiros. As Tabelas 4-2, 4-3 e 4-4 exemplificam as planilhas utilizadas para a inspeção de cada família de elemento do viaduto em questão, demonstrando os danos possíveis e seus fatores de ponderação, além do fator de intensidade que foi avaliado, e, por fim, o resultado do grau de deterioração de elemento (G_{de}). Os resultados detalhados para cada elemento avaliado encontram-se no Anexo 8.2.1.

Tabela 4-2: Grau de deterioração do Guarda-Rodas Oeste

<i>Guarda Rodas Oeste</i>	$F_r = 1$	Cobrimento deficiente	3	2	4,8	33,00
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3	3	24	
		Eflorescência	2		0	
		Falhas de concretagem	2		0	
		Fissuras (2 a 5)	2	1	1,6	
		Manchas	3		0	
		Sinais de Esmagamento	4		0	
		Infiltração de água	3		0	
		Abrasão do Concreto	3		0	

Tabela 4-3: Grau de deterioração do Pilar Norte-Oeste

<i>Pilar Norte-Oeste</i>	Fl = 5	Cobrimento deficiente	3		0	11,00
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3		0	
		Deslocamento por empuxo	5		0	
		Desplacamento	3	2	4,8	
		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 4-4: Grau de deterioração do Tabuleiro Sul

<i>Tabuleiro Sul</i>	Fl = 4	Cobrimento deficiente	3		0	90,97
		Corrosão de armaduras	5		0	
		Desagregação	3		0	
		Desplacamento	3		0	
		Eflorescência	2	4	40	
		Falhas de concretagem	2	2	3,2	
		Fissuras (2 a 5)	2	3	16	
		Flechas	5		0	
		Infiltração de água	3	4	60	
		Manchas	3	2	4,8	
		Abrasão do concreto	3		0	

A partir dos valores do G_{de} , é possível fazer o cálculo do grau de deterioração das famílias (G_{df}). Por fim, é feito o cálculo do grau de deterioração da estrutura (G_d). A Tabela 4-5 resume o resultado de todos os índices para todos os elementos.

Tabela 4-5: Resultados obtidos para o Viaduto 064_789_22_90_V

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 Leste</i>	12,67	37,30	1	72,35	Alto
<i>Guarda Rodas Oeste</i>	33,00				
<i>Pilar Sul-Leste</i>	1,60	12,92	5		
<i>Pilar Sul-Oeste</i>	5,14				
<i>Pilar Centro-Leste</i>	0,00				
<i>Pilar Centro-Oeste</i>	0,00				
<i>Pilar Norte-Leste</i>	0,00				
<i>Pilar Norte-Oeste</i>	11,00				
<i>Tabuleiro Sul</i>	90,97	117,83	4		
<i>Tabuleiro Centro-Sul</i>	67,18				
<i>Tabuleiro Centro Norte</i>	60,39				
<i>Tabuleiro Norte</i>	63,61				

É possível perceber, a partir da tabela, que a família do elemento tabuleiro obteve G_{df} crítico, pois estão acima do valor 100, tendo recomendação de intervenção imediata. Este foi o viaduto com maior grau de deterioração entre os inspecionados neste trabalho. O Guarda Rodas Oeste teve grandes exposição de armaduras, sendo considerada a patologia deslocamento com $Fi = 3$. Além disso, tem-se dano corrosão de armadura bem evidente, com $Fi = 2$. A Figura 4.2 demonstra o nível das patologias no guarda rodas do viaduto.



Figura 4.2: Elemento guarda rodas com deslocamento e corrosão de armadura

Em todos os 4 tabuleiros, foram apontados também eflorescência e fissuras, sendo o Tabuleiro Sul avaliado como em pior situação. A Figura 4.3 apresenta tais danos para os tabuleiros.



Figura 4.3: Elemento tabuleiro com eflorescência, fissuras e falha de concretagem

Percebe-se que a família de pilares possui o melhor estado de conservação do viaduto, com $G_{df} = 12,92$. Fazendo o cálculo do grau de deterioração da estrutura, obteve-se um valor de $G_d = 72,35$, classificando-a como nível alto. Para estes casos recomenda-se uma intervenção em até 1 ano (VERLY, 2015).

Este foi o viaduto que, em 13 de março de 2019, parte da camada inferior da laje desabou. O incidente causou insegurança nas pessoas que passam pelo viaduto, mas felizmente não houve vítimas. As Figuras 4.4 e 4.5 apresentam imagens do dia do acidente. Na ocasião, o Detran isolou o local para que a Defesa Civil pudesse analisar e a mesma informou que o ocorrido se deu por conta de um veículo com altura elevada que se chocou com a parte inferior da laje do viaduto, que em seguida foi reparado parcialmente e liberado do isolamento.



Figura 4.4: Isolamento de viaduto na L4 Sul. Fonte: <https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2019/03/13/buracos-na-estrutura-de-viaduto-na-l4-sul-no-df-fazem-detrans-interditar-pista-para-analise-da-defesa-civil.ghtml>.



Figura 4.5: Buracos na estrutura de viaduto na L4 Sul. Fonte: <https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2019/03/13/buracos-na-estrutura-de-viaduto-na-l4-sul-no-df-fazem-detran-interditar-pista-para-analise-da-defesa-civil.ghtml>.

4.1.2. Viaduto 2 TTN sobre a DF 004

O viaduto foi dividido entre os seguintes elementos: 4 guarda-rodas, 3 conjuntos de pilares e 4 tabuleiros. Os pilares foram analisados em conjunto devido à ausência de danos verificados na inspeção. A Figura 4.6 apresenta o viaduto.

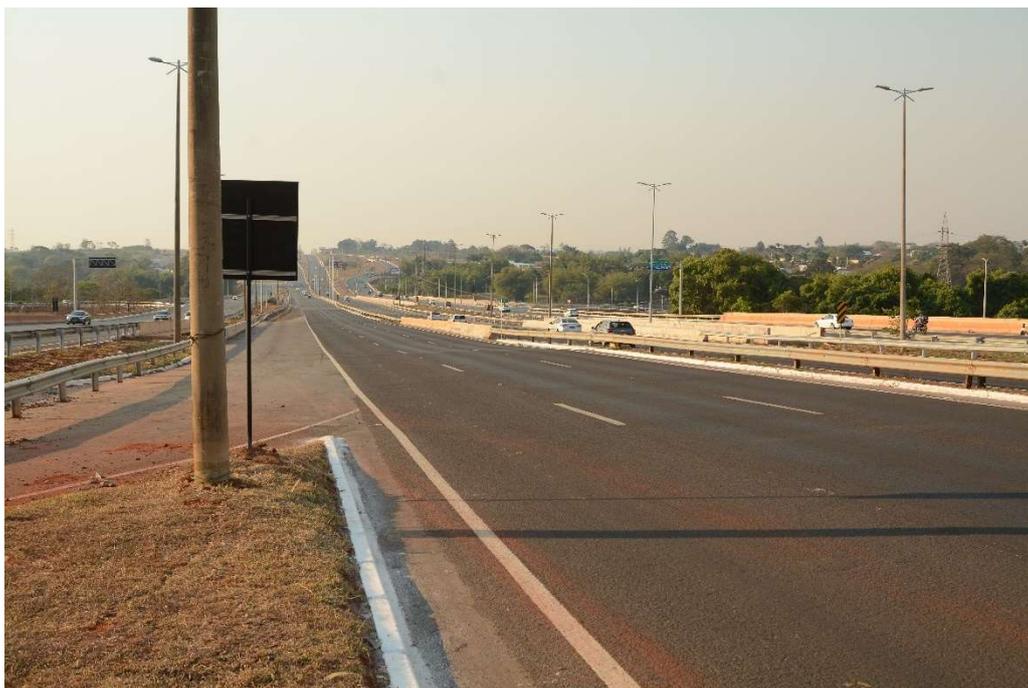


Figura 4.6: Viaduto 2 TTN sobre a DF 004.

Como se pode perceber pela Tabela 4-6, obteve-se $G_d = 0,83$, sendo enquadrado no estado baixo de deterioração. Esta é a OAE com menor G_d nesta dissertação. Os resultados detalhados para cada elemento se encontram no Anexo 8.2.2.

Tabela 4-6: Resultados obtidos para o Viaduto 044_789_73_24_V

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 Oeste</i>	4,80	5,88	1	0,83	Baixo
<i>Guarda Rodas Leste</i>	0,00				
<i>Guarda Rodas Centro-Oeste</i>	4,80				
<i>Guarda Rodas Centro-Leste</i>	0,00				
<i>Pilar Norte</i>	0,00	0,00	5		
<i>Pilar Central</i>	0,00				
<i>Pilar Sul</i>	0,00				
<i>Tabuleiro Sul</i>	0,00	0,00	4		
<i>Tabuleiro Centro-Sul</i>	0,00				
<i>Tabuleiro Centro-Norte</i>	0,00				
<i>Tabuleiro Norte</i>	0,00				

O único dano encontrado foi o de manchas nos Guarda Rodas Oeste e Centro-Oeste de pequenas extensões, conforme Figura 4.7, recebendo G_{df} com valor de 5,88. Como o viaduto possui

classificação de baixa deterioração, recomenda-se manutenção preventiva, programando uma intervenção no longo prazo, segundo VERLY (2015).



Figura 4.7: Guarda Rodas com manchas.

4.2. ANÁLISE DE DADOS

Este trabalho abrange os dados de inspeções de 36 Obras de Artes Especiais, tendo sido gerado planilhas eletrônicas e banco de registros fotográficos de cada uma delas. Com as planilhas, foi possível analisar os dados de forma mais abrangente. Estas investigações nos dados visam compreender ainda mais as manifestações patológicas nas OAEs do Distrito Federal por meio da Metodologia GDE, tendo classificações e recomendações de intervenções para cada obra analisada.

Inicialmente, analisou-se a frequência de danos obtidos através das 36 inspeções. Com isso, é possível perceber a presença maior de algumas manifestações patológicas em relações às outras, sugerindo que projetistas e órgãos responsáveis pela manutenção dessas obras se atentem à prevenção do surgimento e agravamento dos mesmos. A Tabela 4-7 demonstra a lista de frequência e a Figura 4.8 demonstra um gráfico com estes danos. O dano mais frequente foi a infiltração de água, que está muito relacionado com a precária manutenção dessas estruturas, bem como dos pavimentos que as cobrem, prejudicando a estanqueidade e permitindo que a água das chuvas penetre na estrutura. Relacionado a isso, tem-se o terceiro dano mais frequente, as fissuras, que são muitas vezes o escape dessa água.

Além disso, as manchas, o segundo dano mais frequente, são as primeiras manifestações patológicas a serem visualizadas em estruturas de concreto em OAEs, como apontado por Pavoni (2019). Portanto, a maior frequência deste dano era esperada e também pode ser relacionada ao mau escoamento da água que cai sobre a estrutura.

Tabela 4-7: Frequência de Danos nas OAEs – Lote 5

Dano	Frequência	Frequência Relativa (%)
Infiltração de Água	84	18,75
Manchas	77	17,19
Fissuras	70	15,63
Corrosão das Armaduras	56	12,50
Eflorescência	53	11,83
Desplacamento	40	8,93
Cobrimento deficiente	27	6,03
Falhas de Concretagem	22	4,91
Abrasão do Concreto	19	4,24
Sinais de Esmagamento	0	0,00
Desagregação	0	0,00

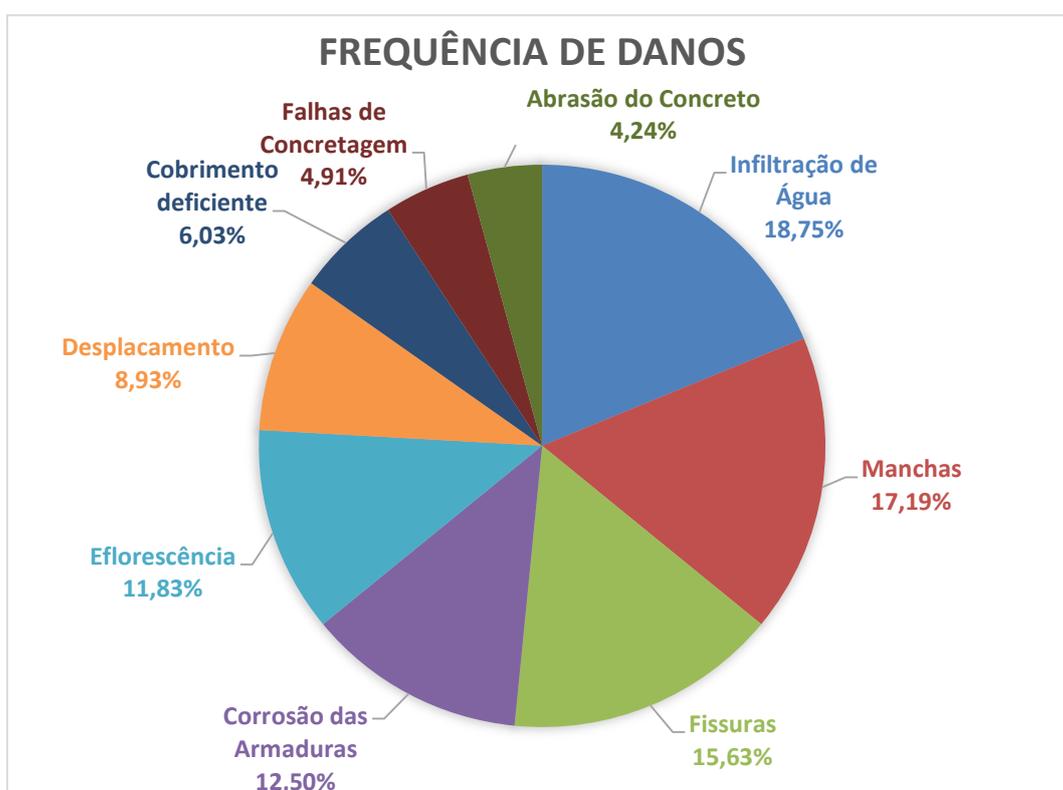


Figura 4.8: Frequência de danos nas OAEs - Lote 5

Outra análise importante é a frequência dessas manifestações patológicas nas OAEs que tiveram os maiores Graus de Deterioração, uma vez que pode ser usada para estudar quais os danos que têm se mostrado mais desfavorável na avaliação das estruturas. Para isso, na Tabela 4-8 utilizou-se as dez Obras de Arte Especiais mais danificadas do Lote 5, representando um total de 36% das obras inspecionadas, para ser feito o levantamento de danos. Mais uma vez a infiltração de água e as fissuras encontram-se entre os três danos mais frequentes, estando presente na maioria das OAE's analisadas. Além disso, percebe-se a presença de corrosão de armaduras, que possui fator de ponderação (F_p) igual a 5, ou seja, valor máximo. Quando este dano aparece com frequência, e com fatores de intensidade (F_i) altos, já demonstra um estado elevado de deterioração geral da estrutura, por isso este dano é bastante presente em estruturas de elevado G_d . A Figura 4.9 demonstra um gráfico com os resultados para esta análise.

Tabela 4-8 Danos mais frequentes nas dez OAEs de maior G_d

Dano	Frequência	Frequência Relativa (%)
Corrosão das Armaduras	27	16,36
Infiltração de Água	26	15,76
Fissuras	25	15,15
Desplacamento	20	12,12
Eflorescência	19	11,52
Manchas	17	10,30
Cobrimto deficiente	11	6,67
Falhas de Concretagem	11	6,67
Abrasão do Concreto	9	5,45
Sinais de Esmagamento	0	0,00
Desagregação	0	0,00

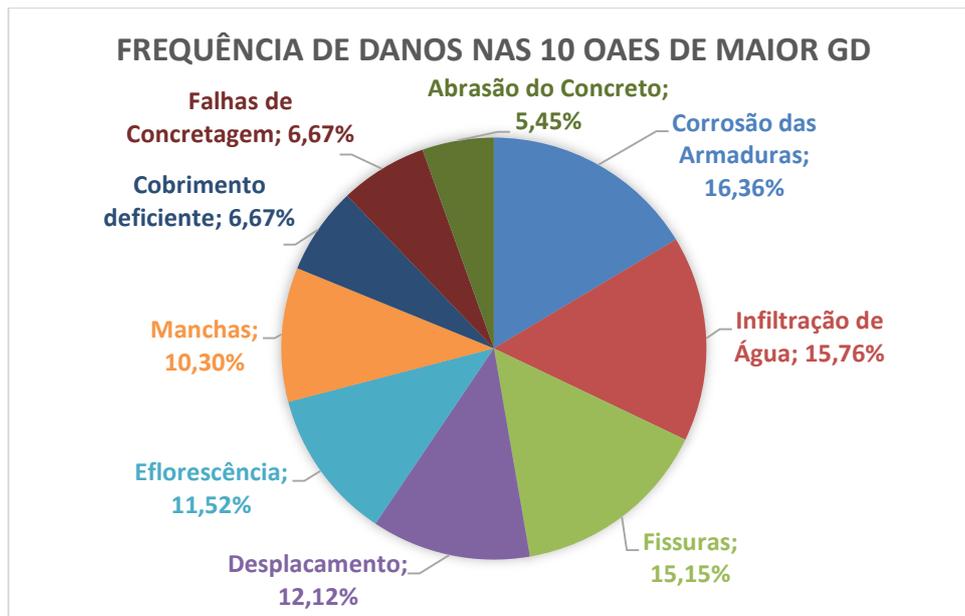


Figura 4.9: Danos mais frequentes nas dez OAEs de maior G_d

Levando em conta que a Metodologia GDE/UnB, além de gerar uma classificação para a OAE inteira, também classifica cada elemento da OAE, é possível fazer um levantamento de classificações de todos os elementos presentes nas 36 Obras de Artes Especiais avaliadas neste trabalho. Com isso, tal análise pode ser utilizada por projetistas e órgãos responsáveis pela manutenção dessas estruturas para que tenham uma atenção especial aos elementos mais danificados. A Tabela 4-9 apresenta os resultados deste levantamento em frequência de casos e a Tabela 4-10 em porcentagem dos casos.

Tabela 4-9: Classificação do estado dos elementos das OAE's

Elemento	Estado de Conservação					Total
	Baixo	Médio	Alto	Sofrível	Crítico	
Cortina	21	1	0	0	0	22
Cortina Central	1	1	0	0	0	2
Guarda Rodas	62	6	0	0	0	68
Longarina	12	0	0	0	0	12
Pilar	69	4	3	0	0	76
Tabuleiro	87	7	5	2	0	101
Transversina	6	0	0	0	0	6

Tabela 4-10: Classificação do estado dos elementos das OAE's em porcentagem

Elemento	Estado de Conservação (%)				
	Baixo	Médio	Alto	Sofrível	Crítico
Cortina	95,45	4,55	0,00	0,00	0,00
Cortina Central	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00
Guarda Rodas	91,18	8,82	0,00	0,00	0,00
Longarina	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pilar	90,79	5,26	3,95	0,00	0,00
Tabuleiro	86,14	6,93	4,95	1,98	0,00
Transversina	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Como o número de elementos são diferentes para cada OAE inspecionada, o cálculo da porcentagem da quantidade total para o mesmo elemento se torna importante, por ser capaz de dar um panorama mais abrangente. Com isso, a partir da Tabela 4-10, é possível notar que os elementos mais danificados são os Tabuleiros e os Pilares, tendo um grande impacto no valor do G_d , pois possuem fator de relevância (F_r) igual a 4 e 5, respectivamente. A maioria das OAE's com G_d mais altos, possuem danos altos nos pilares e tabuleiros. Nas Figuras de 4.10 a 4.15, é possível visualizar, de forma gráfica, as classificações de níveis de deterioração de cada elemento do Lote 5.

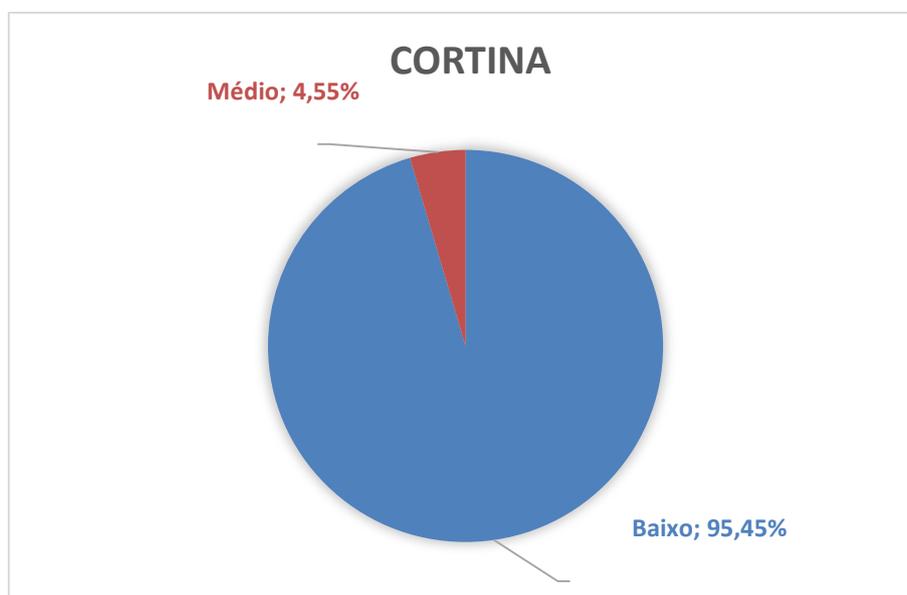


Figura 4.10: Níveis de deterioração das Cortinas

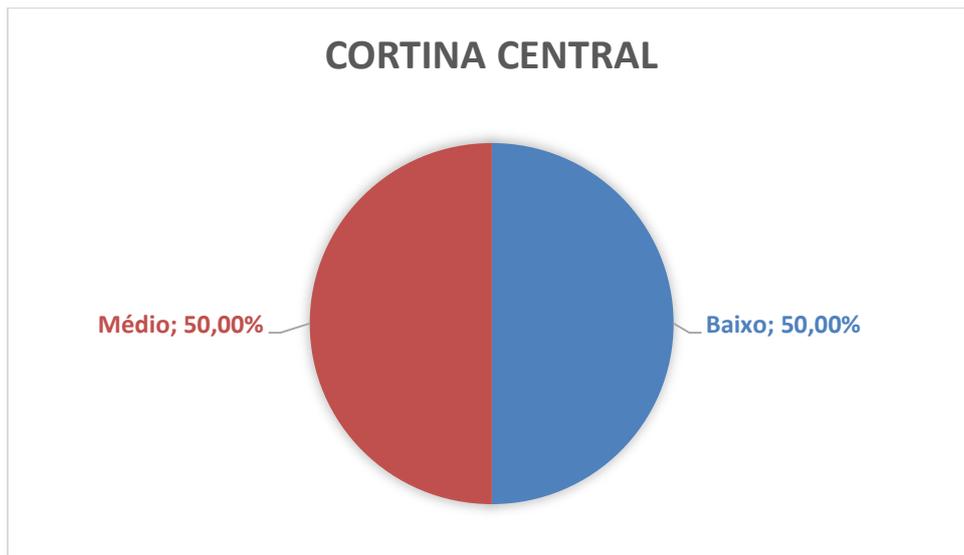


Figura 4.11: Níveis de deterioração das Cortinas Centrais

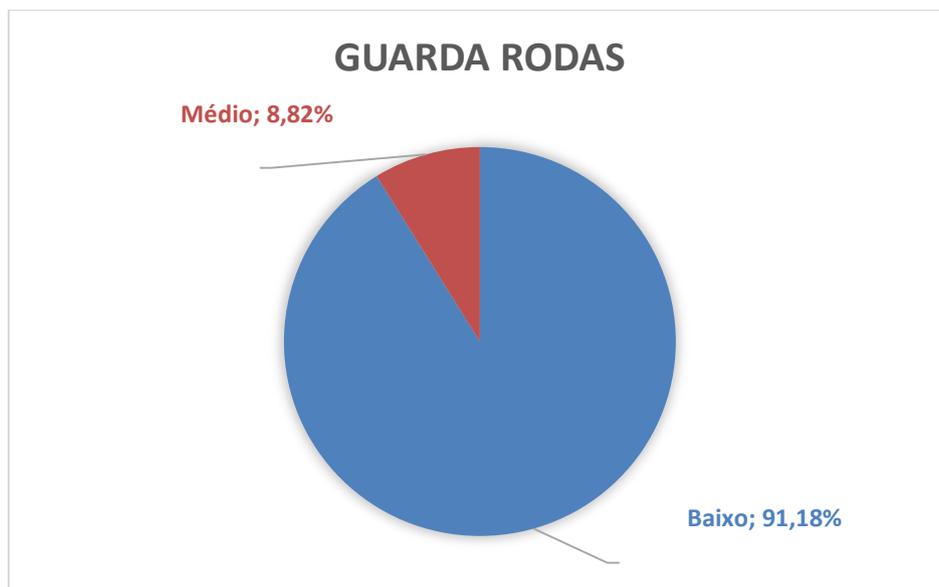


Figura 4.12: Níveis de deterioração dos Guarda Rodas

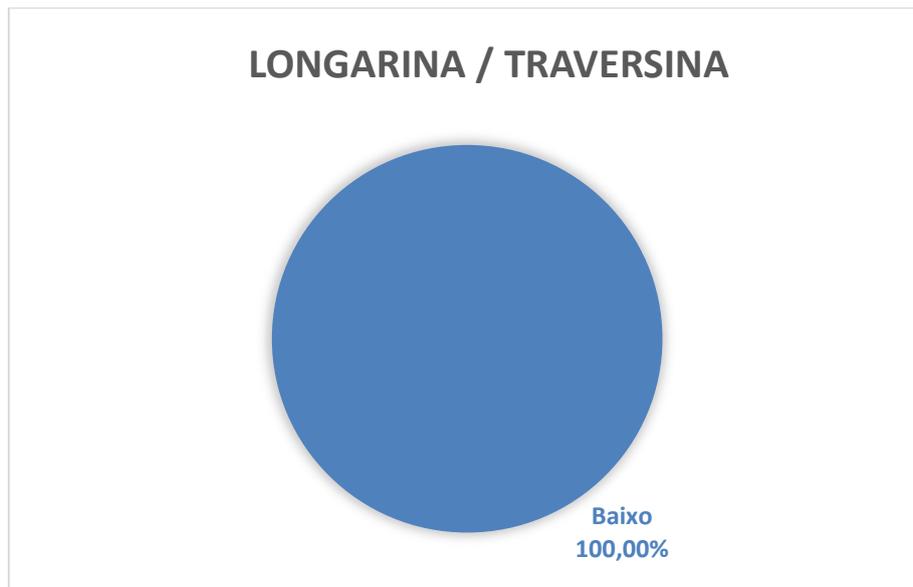


Figura 4.13: Níveis de deterioração das Longarinas e Traversinas

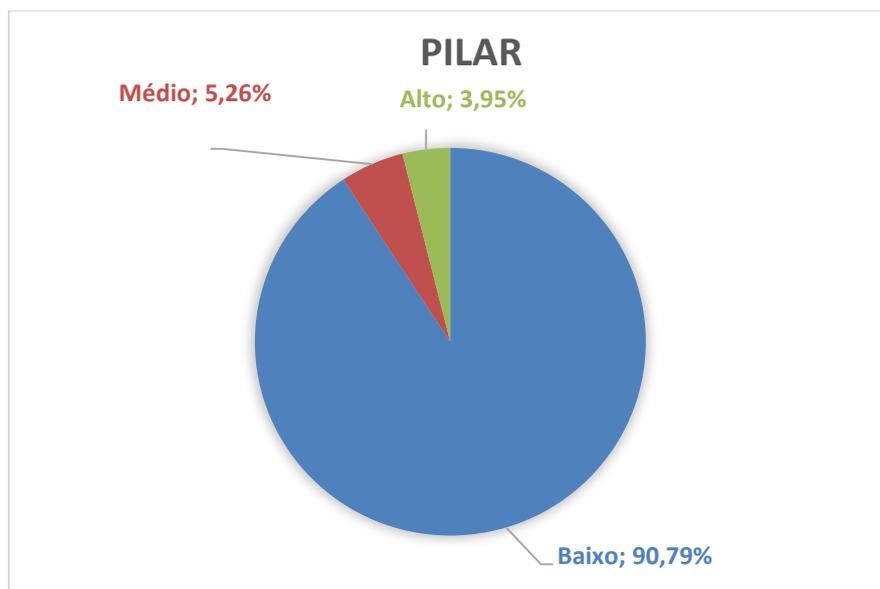


Figura 4.14: Níveis de deterioração dos Pilares

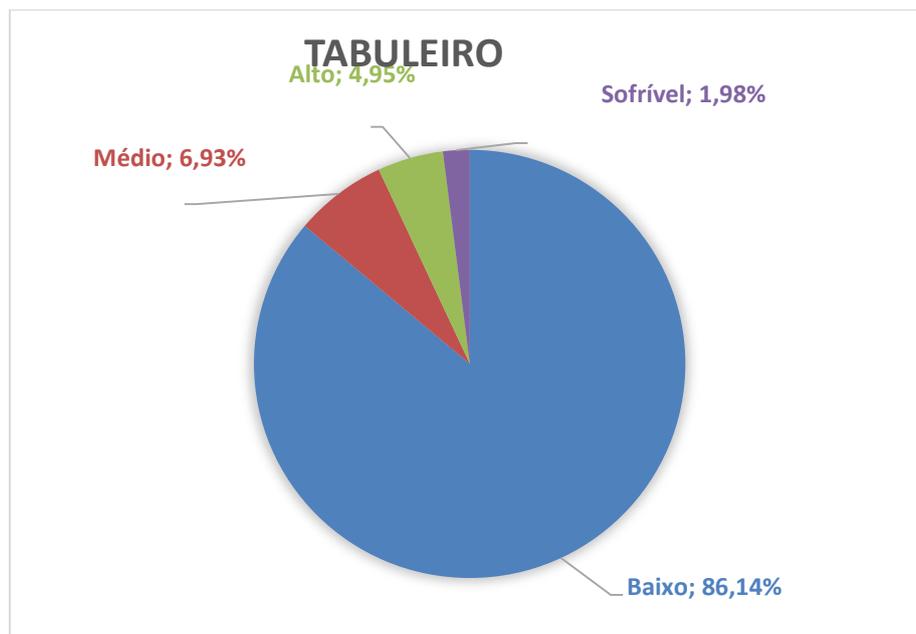


Figura 4.15: Níveis de deterioração dos Tabuleiros

Por fim, outra importante análise é a frequência de danos por cada elemento, uma vez que seu estudo pode trazer importantes informações a respeito de quais as suscetibilidades de cada elemento aos danos analisados. A Tabela 4-11 apresenta os resultados deste levantamento em frequência de casos e a Tabela 4-12 em porcentagem dos casos.

Tabela 4-11: Frequência dos danos por elementos das OAE's

Dano	Frequência						
	Elementos						
	Cortina	Cortina Central	Guarda Rodas	Longarina	Pilar	Tabuleiro	Transversina
Corrosão das Armaduras	2	0	12	1	17	24	0
Infiltração de Água	16	2	2	0	0	64	0
Fissuras	4	1	13	0	0	52	0
Deslocamento	1	0	15	0	21	3	0
Eflorescência	3	2	0	0	0	48	0
Manchas	17	2	11	1	2	44	0
Cobrimento deficiente	2	0	6	0	1	18	0
Falhas de Concretagem	4	0	3	1	6	8	0
Abrasão do Concreto	0	0	13	1	0	5	0
Sinais de Esmagamento	0	0	0	0	0	0	0
Desagregação	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	49	7	75	4	47	266	0

Tabela 4-12: Frequência Relativa dos danos por elementos das OAE's

Frequência Relativa (%)							
Dano	Elementos						
	Cortina	Cortina Central	Guarda Rodas	Longarina	Pilar	Tabuleiro	Transversina
Corrosão das Armaduras	4,08	0,00	16,00	25,00	36,17	9,02	-
Infiltração de Água	32,65	28,57	2,67	0,00	0,00	24,06	-
Fissuras	8,16	14,29	17,33	0,00	0,00	19,55	-
Deslocamento	2,04	0,00	20,00	0,00	44,68	1,13	-
Eflorescência	6,12	28,57	0,00	0,00	0,00	18,05	-
Manchas	34,69	28,57	14,67	25,00	4,26	16,54	-
Cobrimento deficiente	4,08	0,00	8,00	0,00	2,13	6,77	-
Falhas de Concretagem	8,16	0,00	4,00	25,00	12,77	3,01	-
Abrasão do Concreto	0,00	0,00	17,33	25,00	0,00	1,88	-
Sinais de Esmagamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Desagregação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

Através da análise desses dados, é possível notar que o mesmo dano pode apresentar frequências relativas muito discrepantes ao mudar de elemento, como pode ser visto também na Figura 4.16. Isso indica que os elementos estruturais podem apresentar respostas diferentes aos efeitos dos agentes intempéris e ao uso ao longo do tempo, esse fato pode estar relacionado à manutenção, à concepção da estrutura ou à execução. Nas Figuras de 4.17 a 4.22, é possível visualizar, de forma gráfica, as frequências relativas dos danos em cada elemento do Lote 5, excetuando-se o elemento transversina, devido à ausência de danos constatados nas inspeções realizadas.

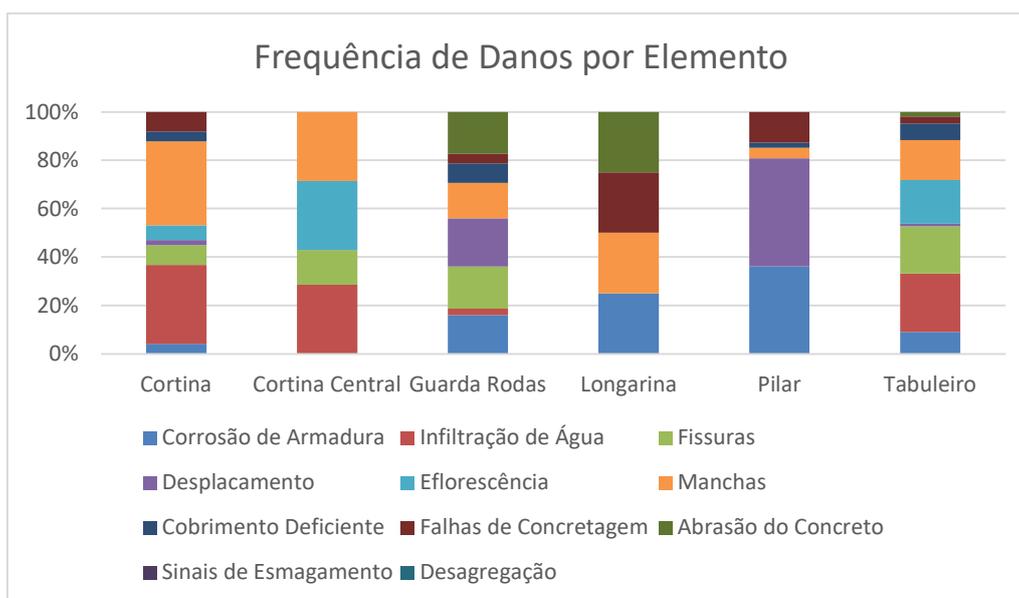


Figura 4.16: Resumo da frequência de danos nos elementos

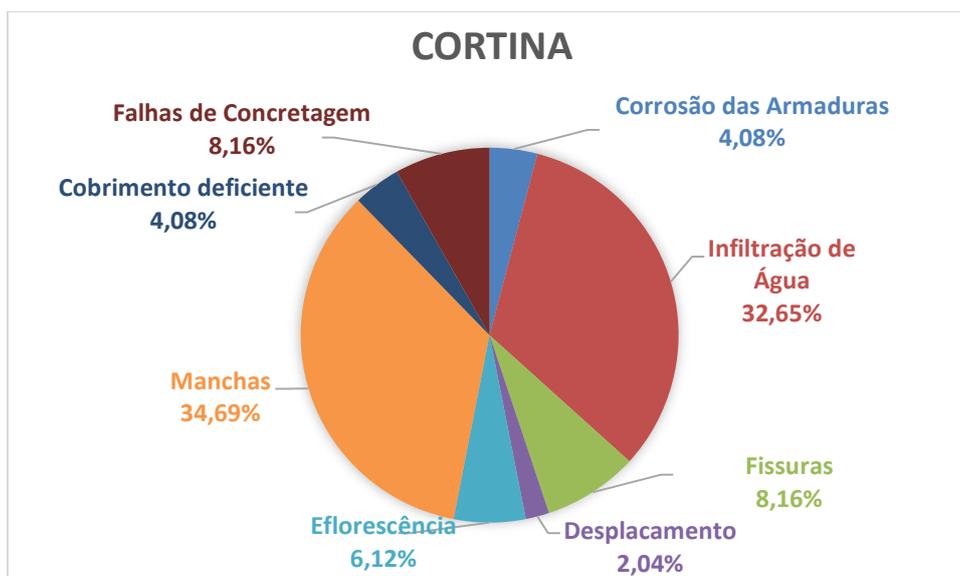


Figura 4.17: Frequência de danos no elemento cortina

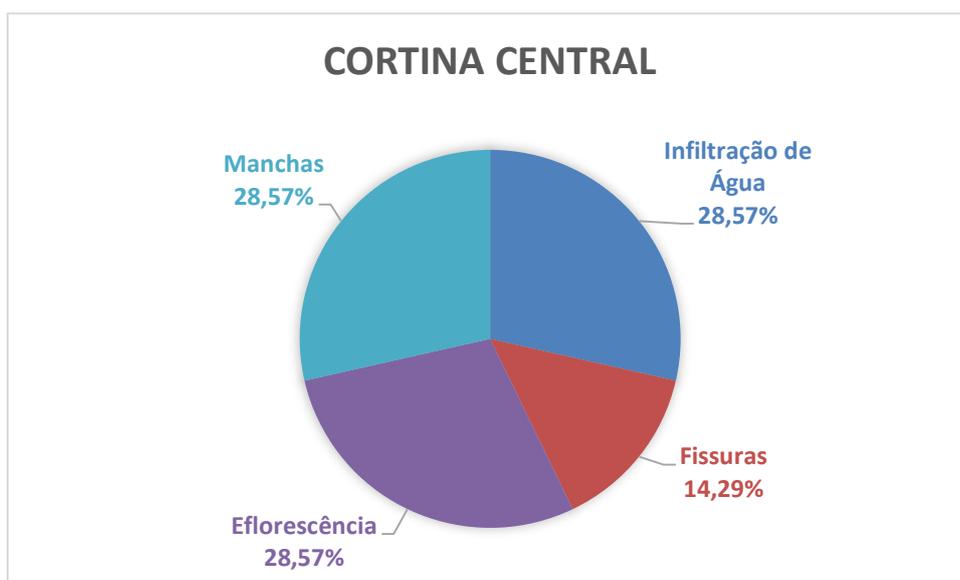


Figura 4.18: Frequência de danos no elemento cortina central

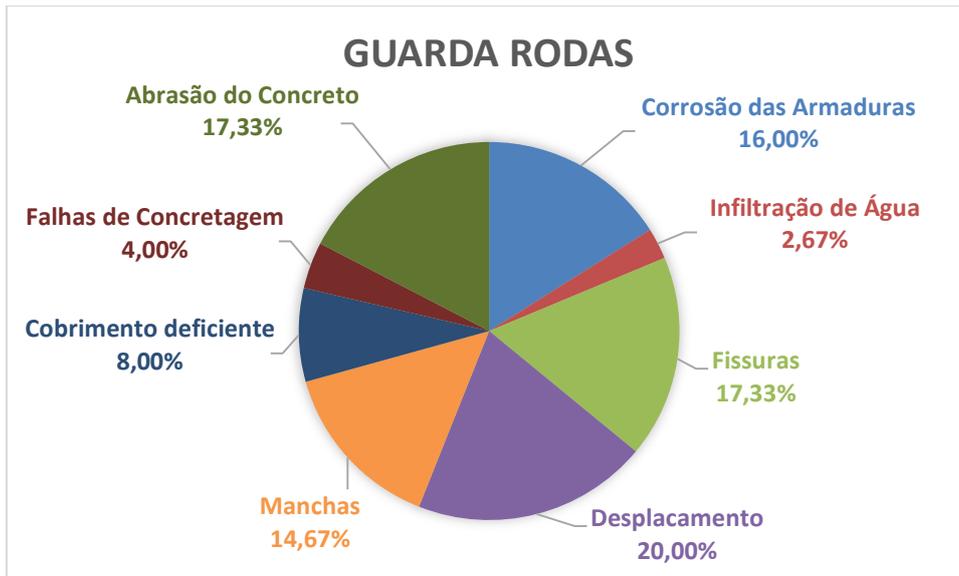


Figura 4.19: Frequência de danos no elemento guarda rodas

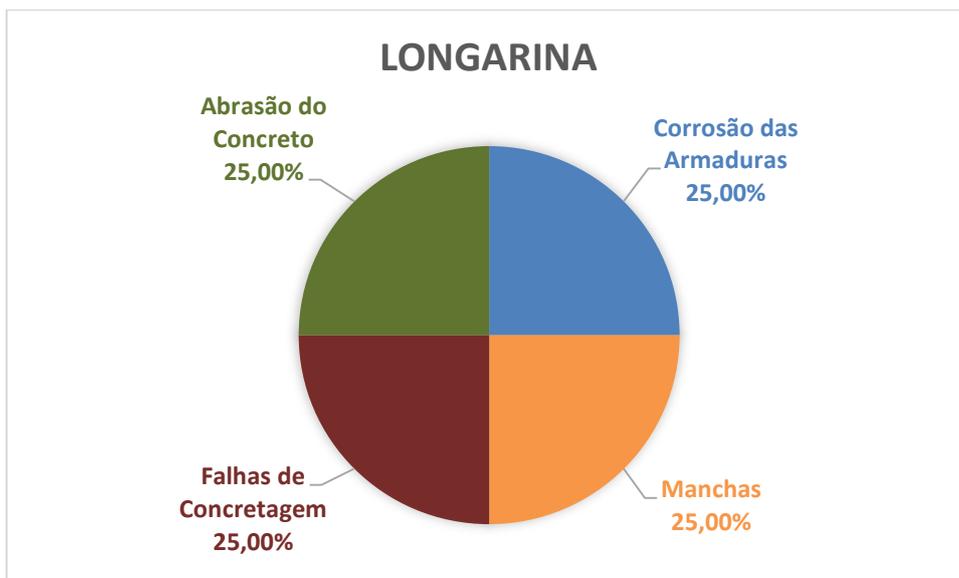


Figura 4.20: Frequência de danos no elemento longarina

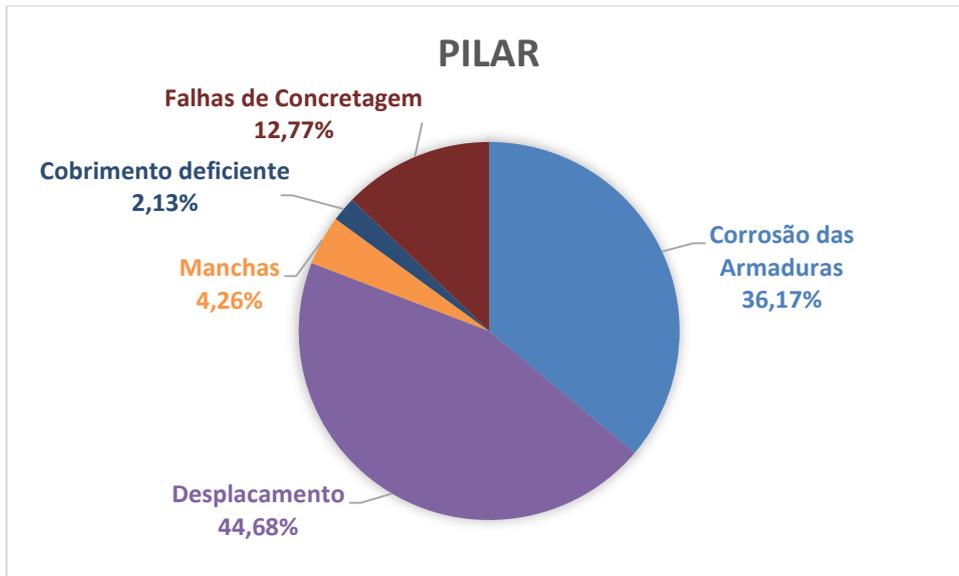


Figura 4.21: Frequência de danos no elemento pilar

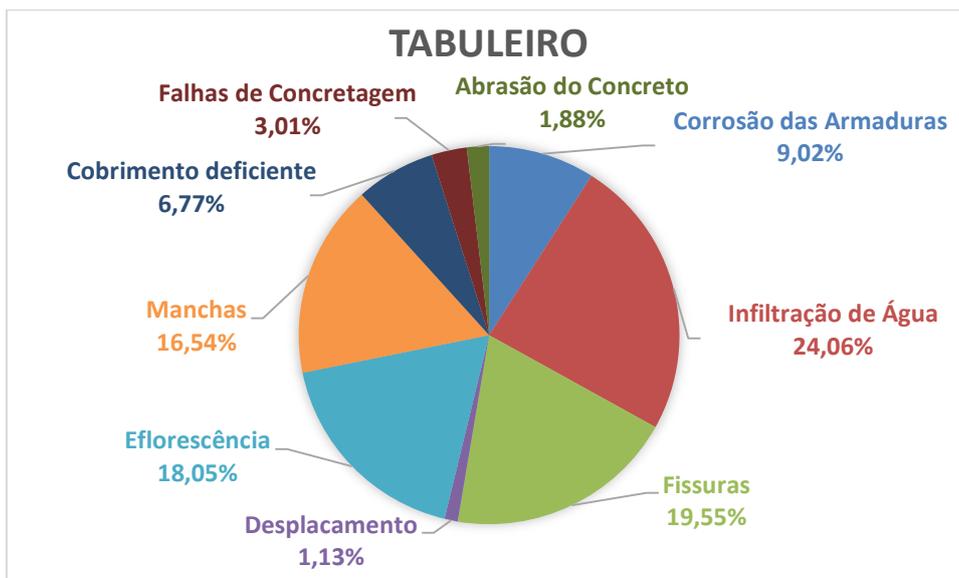


Figura 4.22: Frequência de danos no elemento tabuleiro

5. CONCLUSÃO

O presente estudo fez a análise das OAEs, de um lote de Obras de Arte Especiais de Brasília – DF, aplicando a metodologia do Grau de Deterioração de Estruturas desenvolvida pela Universidade de Brasília (GDE/UnB). Esse lote ficou composto por 36 OAEs, entretanto neste trabalho foi demonstrado somente os resultados para as obras que estavam em pior e em melhor condição dentre todas. Apesar da metodologia ter sido inicialmente pensada para o estudo do grau de deterioração de edifícios, as modificações e adaptações por novas formulações sofridas ao longo do tempo permitiram aprimorar a avaliação, tornando-a também aplicável às Obras de Arte Especiais.

Para a análise do grau de deterioração estrutural, considerou-se todos os valores de grau de deterioração dos elementos (G_{de}). Isso se deve a proximidade (sempre maior) evidenciada nos resultados com a aplicação das fórmulas que consideram apenas valores de $G_{de} \geq 15$, inutilizando a análise deste último para o presente estudo.

Vale ressaltar que alguns elementos, de certas OAEs estavam localizados de forma a dificultar as inspeções, por necessitarem de equipamentos mais sofisticados para vencerem eventuais barreiras físicas e serem acessadas de forma segura pelo responsável pela inspeção.

Como é natural de uma análise essencialmente qualitativa, houve certa dificuldade para balizamento e calibragem dos fatores de intensidade corretos para cada caso, sendo necessárias revisões com base em registro fotográfico feito em campo. Após o correto entendimento da aplicação da metodologia foi possível considerar os resultados obtidos como satisfatórios, coerentes com a realidade das OAEs vistoriadas e também com a inspeção preliminar feita para decidir a localização das primeiras inspeções.

Para as OAEs escolhidas para este trabalho, das 36 estruturas avaliadas obteve-se os seguintes resultados para o grau de deterioração: 27 estão em estado baixo; 6 em estado médio; 3 em estado alto; nenhum em estado sofrível ou crítico. Sendo que, de acordo com a metodologia GDE/UnB (VERLY, 2015), recomenda-se intervenção em até 1 ano para as OAEs em estado alto, 2 anos para estado médio e manutenção preventiva para o estado baixo.

Com base nos resultados preliminares apresentados neste trabalho, é possível estruturar um panorama das OAEs analisadas que auxilia na tomada de decisão relacionadas com planos de

manutenção para a infraestrutura urbana, considerando os limites temporais de intervenção propostos na metodologia e os danos mais graves que requerem cuidado imediato. Além disso, o uso da metodologia GDE/UnB em inspeções periódicas é importante para entender o agravamento dos danos assim como o desenvolvimento de banco de dados que auxilia ainda mais no constante desenvolvimento da metodologia.

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.

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.

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.

Há 30 anos, Brasília se tornava Patrimônio Cultural da Humanidade. CORREIO BRAZILIENSE, Cidades, Brasília, 7 de dezembro de 2017. Disponível em: <
https://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/cidades/2017/12/07/interna_cidadesdf,646

122/ha-30-anos-brasilia-se-tornava-patrimonio-cultural-da-humanidade.shtml>. Acesso em: 03 de maio de 2019.

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, ovembro.

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: 03 de maio de 2019.

LAURIA, Maria Luisa Miranda. 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. 1.], 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.

PAVONI, Felipe Barretto. 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. 1.], 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: 23 de maio de 2019.

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

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. ANEXOS

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

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 – Longarina

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. RESULTADOS DETALHADOS

7.2.1. Viaduto 064_789_21_90_V

Tabela 7-7: Resultados Guarda-Rodas Leste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Guarda Rodas Leste</i>	1	Cobrimento deficiente	3	2	4,8	12,67
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	2	4,8	
		Eflorescência	2	0	0	
		Falhas de concretagem	2	0	0	
		Fissuras (2 a 5)	2	1	1,6	
		Manchas	3	0	0	
		Sinais de Esmagamento	4	0	0	
		Infiltração de água	3	0	0	
		Abrasão do Concreto	3	0	0	

Tabela 7-8: Resultados Guarda-Rodas Oeste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Guarda Rodas Oeste</i>	1	Cobrimento deficiente	3	2	4,8	33,00
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	3	24	
		Eflorescência	2	0	0	
		Falhas de concretagem	2	0	0	
		Fissuras (2 a 5)	2	1	1,6	
		Manchas	3	0	0	
		Sinais de Esmagamento	4	0	0	
		Infiltração de água	3	0	0	
		Abrasão do Concreto	3	0	0	

Tabela 7-9: Resultados Pilar Sul-Leste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar Sul-Leste</i>	5	Cobrimento deficiente	3	0	0	1,60
		Corrosão de armaduras	5	0	0	
		Desagregação	3	0	0	
		Deslocamento por empuxo	5	0	0	
		Desplacamento	3	0	0	
		Desvio de geometria	3	0	0	
		Eflorescência	2	0	0	
		Falhas de concretagem	2	1	1,6	
		Fissuras (2 a 5)	2	0	0	
		Infiltração de água	3	0	0	
		Manchas	3	0	0	
		Sinais de Esmagamento	4	0	0	
		Abrasão do concreto	3	0	0	

Tabela 7-10: Resultados Pilar Sul-Oeste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar Sul-Oeste</i>	5	Cobrimento deficiente	3	0	0	5,14
		Corrosão de armaduras	5	1	4	
		Desagregação	3	0	0	
		Deslocamento por empuxo	5	0	0	
		Desplacamento	3	0	0	
		Desvio de geometria	3	0	0	
		Eflorescência	2	0	0	
		Falhas de concretagem	2	1	1,6	
		Fissuras (2 a 5)	2	0	0	
		Infiltração de água	3	0	0	
		Manchas	3	0	0	
		Sinais de Esmagamento	4	0	0	
		Abrasão do concreto	3	0	0	

Tabela 7-11: Resultados Pilar Centro-Leste

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

Tabela 7-12: Resultados Pilar Centro-Oeste

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

Tabela 7-13: Resultados Pilar Norte-Leste

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

Tabela 7-14: Resultados Pilar Norte-Oeste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Pilar Norte-Oeste</i>	L _t = 5	Cobrimento deficiente	3	0	0	11,00
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3	0	0	
		Deslocamento por empuxo	5	0	0	
		Desplacamento	3	2	4,8	
		Desvio de geometria	3	0	0	
		Eflorescência	2	0	0	
		Falhas de concretagem	2	0	0	
		Fissuras (2 a 5)	2	0	0	
		Infiltração de água	3	0	0	
		Manchas	3	0	0	
		Sinais de Esmagamento	4	0	0	
		Abrasão do concreto	3	0	0	

Tabela 7-15: Resultados Tabuleiro Sul

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro Sul</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	0	0	90,97
		Corrosão de armaduras	5	0	0	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	0	0	
		Eflorescência	2	4	40	
		Falhas de concretagem	2	2	3,2	
		Fissuras (2 a 5)	2	3	16	
		Flechas	5	0	0	
		Infiltração de água	3	4	60	
		Manchas	3	2	4,8	
		Abrasão do concreto	3	0	0	

Tabela 7-16: Resultados Tabuleiro Centro-Sul

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro Centro-Sul</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	0	0	67,18
		Corrosão de armaduras	5	3	40	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	2	4,8	
		Eflorescência	2	4	40	
		Falhas de concretagem	2	0	0	
		Fissuras (2 a 5)	2	3	16	
		Flechas	5	0	0	
		Infiltração de água	3	3	24	
		Manchas	3	0	0	
		Abrasão do concreto	3	0	0	

Tabela 7-17: Resultados Tabuleiro Centro-Norte

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro Centro Norte</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	0	0	60,39
		Corrosão de armaduras	5	0	0	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	0	0	
		Eflorescência	2	4	40	
		Falhas de concretagem	2	1	1,6	
		Fissuras (2 a 5)	2	3	16	
		Flechas	5	0	0	
		Infiltração de água	3	3	24	
		Manchas	3	0	0	
		Abrasão do concreto	3	0	0	

Tabela 7-18: Resultados Tabuleiro Norte

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro Norte</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	2	4,8	63,61
		Corrosão de armaduras	5	2	8	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	2	4,8	
		Eflorescência	2	4	40	
		Falhas de concretagem	2	0	0	
		Fissuras (2 a 5)	2	3	16	
		Flechas	5	0	0	
		Infiltração de água	3	3	24	
		Manchas	3	0	0	
		Abrasão do concreto	3	0	0	

7.2.2. Viaduto 044_789_73_24_V

Tabela 7-19: Resultados Guarda Rodas Oeste

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

Tabela 7-20: Resultados Guarda Rodas Leste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Guarda Rodas Leste</i>	Fr = 1	Cobrimento deficiente	3	0	0	0,00
		Corrosão de armaduras	5	0	0	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	0	0	
		Eflorescência	2	0	0	
		Falhas de concretagem	2	0	0	
		Fissuras (2 a 5)	2	0	0	
		Manchas	3	0	0	
		Sinais de Esmagamento	4	0	0	
		Infiltração de água	3	0	0	
		Abrasão do Concreto	3	0	0	

Tabela 7-21: Resultados Guarda Rodas Centro-Oeste

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

Tabela 7-22: Resultados Guarda Rodas Centro-Leste

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Guarda Rodas Centro-Leste</i>	Fr = 1	Cobrimento deficiente	3	0	0	0,00
		Corrosão de armaduras	5	0	0	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	0	0	
		Eflorescência	2	0	0	
		Falhas de concretagem	2	0	0	
		Fissuras (2 a 5)	2	0	0	
		Manchas	3	0	0	
		Sinais de Esmagamento	4	0	0	
		Infiltração de água	3	0	0	
		Abrasão do Concreto	3	0	0	

Tabela 7-23: Resultados Pilar Norte

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

Tabela 7-24: Resultados Pilar Central

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

Tabela 7-25: Resultados Pilar Sul

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

Tabela 7-26: Resultados Tabuleiro Sul

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro Sul</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	0	0	0,00
		Corrosão de armaduras	5	0	0	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	0	0	
		Eflorescência	2	0	0	
		Falhas de concretagem	2	0	0	
		Fissuras (2 a 5)	2	0	0	
		Flechas	5	0	0	
		Infiltração de água	3	0	0	
		Manchas	3	0	0	
		Abrasão do concreto	3	0	0	

Tabela 7-27: Resultados Tabuleiro Centro-Sul

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro Centro-Sul</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	0	0	0,00
		Corrosão de armaduras	5	0	0	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	0	0	
		Eflorescência	2	0	0	
		Falhas de concretagem	2	0	0	
		Fissuras (2 a 5)	2	0	0	
		Flechas	5	0	0	
		Infiltração de água	3	0	0	
		Manchas	3	0	0	
		Abrasão do concreto	3	0	0	

Tabela 7-28: Resultados Tabuleiro Centro-Norte

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro Centro-Norte</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	0	0	0,00
		Corrosão de armaduras	5	0	0	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	0	0	
		Eflorescência	2	0	0	
		Falhas de concretagem	2	0	0	
		Fissuras (2 a 5)	2	0	0	
		Flechas	5	0	0	
		Infiltração de água	3	0	0	
		Manchas	3	0	0	
		Abrasão do concreto	3	0	0	

Tabela 7-29: Resultados Tabuleiro Norte

Elemento	Fr	Dano	Fp	Fi	D	Gde
<i>Tabuleiro Norte</i>	Fr = 4	Cobrimento deficiente	3	0	0	0,00
		Corrosão de armaduras	5	0	0	
		Desagregação	3	0	0	
		Desplacamento	3	0	0	
		Eflorescência	2	0	0	
		Falhas de concretagem	2	0	0	
		Fissuras (2 a 5)	2	0	0	
		Flechas	5	0	0	
		Infiltração de água	3	0	0	
		Manchas	3	0	0	
		Abrasão do concreto	3	0	0	