

AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA PONTE DA AVENIDA ANA JACINTA SOBRE O RIO DAS ANTAS EM ANÁPOLIS - GO

93

EVALUATION OF THE PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS OF THE ANA JACINTA AVENUE BRIDGE OVER THE ANTAS RIVER IN ANÁPOLIS - GO

FELIPE FERNANDO LISOT DE LIMA

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Goiás (UEG)
lipelisot@gmail.com

JULIANO RODRIGUES DA SILVA

Doutor em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (UnB) e
Docente do Curso de Engenharia Civil na Universidade Estadual de Goiás
(UEG - CCET, Campus Henrique Santillo, Anápolis - GO)
julianorodriguessilva@gmail.com

PABLO DO NASCIMENTO NEVES

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Goiás (UEG) e
Especialização em Perícias e Avaliações em Obras pela Faculdade EducaMais
(UNIMAIS)
pablonascimento44@gmail.com

EDER CHAVEIRO ALVES

Ministério Público do Estado de Goiás, Gestor de Engenharia
eder.alves@mpgo.mp.br

Resumo: Por meio da metodologia GDE (Grau de Deterioração da Estrutura), objetivou-se com esta pesquisa determinar o grau de deterioração estrutural de uma ponte de concreto armado localizada na cidade de Anápolis-GO. Os resultados obtidos indicaram que dos 50 elementos vistoriados, 24 possuem grau de deterioração baixo, 13 médio, 6 alto e 7 com grau crítico. Os elementos mais danificados são os da família tabuleiro e as vigas transversinas de extremidade. O grau de deterioração da estrutura indicou um grau de conservação crítico, sendo recomendado um plano de ações imediatas. Dessa forma, o uso da metodologia é pertinente para a avaliação do grau de deterioração mediante à análise das diferentes manifestações patológicas.

Palavras-chave: Ponte. Concreto. Patologia. GDE.

Abstract: Through the GDE methodology (Degree of Structure Deterioration), the objective of this research was to determine the degree of structural deterioration of a reinforced concrete bridge located in the city of Anápolis-GO. The results obtained indicated that of the 50 inspected elements, 24 have a low degree of deterioration, 13 medium, 6 high and 7 with a critical degree. The most damaged elements are those of the deck family and the end transverse beams. The degree of deterioration of the structure indicated a critical degree of conservation, and an immediate action plan is recommended. Thus, the use of the methodology is relevant for assessing the degree of deterioration through the analysis of different pathological manifestations.

Keywords: Bridge. Concrete. Pathology. GDE.

Introdução

Nos últimos anos do século XXI, algumas obras de artes especiais carentes de manutenção, apresentaram manifestações patológicas que levaram a ruína da estrutura, causando imensuráveis impactos sociais e econômicos. Tendo alarmado a sociedade, o tema foi amplamente divulgado por diversos meios de comunicação.

O termo Obra de Arte Especial (OEA), caracteriza um tipo de construção de engenharia que possui características construtivas, estruturais e funcionais com elevado grau de especificidade, exigindo alta qualificação nas etapas de projeto, execução e manutenção. Tal termo é definido pela norma NBR 9452 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento (ABNT, 2016), como qualquer obra de estrutura viária de transposição superior de obstáculos, permitindo a travessia por um percurso mais curto.

Em fevereiro de 2019, o site do jornal Correio Braziliense fez uma reportagem sobre o primeiro ano completo da queda do viaduto da Galeria dos Estados no Eixo Sul em Brasília, mostrando que até então os prejuízos causados pelo acidente ainda não haviam sido reparados.

Após a queda do viaduto em Brasília, citado anteriormente, as autoridades competentes começaram a se preocupar com as condições dessas Obras de Arte Especiais em outras regiões do Centro-Oeste. O jornal O Popular (2019), noticiou que o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Goiás – CREA / GO providenciou uma ação de vistoria nas pontes e viadutos da cidade de Goiânia. Nesta vistoria, 68 OAE's foram vistoriadas por quase 50 profissionais de engenharia civil, que concluíram que 53 possuem manchas de umidade, incluindo pontes recentes como a ponte sobre o Córrego Botafogo, e 42 apresentam corrosão de armadura. Nesse sentido, apesar de existirem pontes e viadutos de extrema importância para a cidade de Anápolis, existe pouca ou nenhuma informação sobre o estado de conservação destas obras.

Tendo em vista tal falta de informação sobre a conservação das OAE's na cidade de Anápolis e os riscos sociais e econômicos associados aos surgimentos de manifestações patológicas nestas estruturas, surge uma importante questão abordada

nesta pesquisa: “Quais as manifestações patológicas presentes nas principais pontes e viadutos do município de Anápolis – GO?”.

Diante dos fatos, a pesquisa tem como objetivo avaliar as manifestações patológicas presentes na ponte da Avenida Ana Jacinta, sobre o Rio das Antas na cidade de Anápolis, situada no Estado de Goiás, utilizando a metodologia GDE/UnB.

Metodologia

A metodologia GDE, que significa Grau de Deterioração de Estruturas, tem sua origem no Programa de Mestrado em Estruturas e Construção Civil na Universidade de Brasília (PECC-UNB) em 1994 por Castro. Mais tarde, Euqueres (2011) e Verly (2015) adaptaram a metodologia, que era apenas utilizada em edificações de concreto armado, para utilizá-la em estruturas de pontes e estruturas de viadutos, respectivamente. Nesse sentido, a metodologia baseia na inspeção visual das estruturas da ponte como o início e uma das principais etapas da análise das manifestações patológicas de um objeto de estudo. Assim, foram realizadas duas vistorias para documentação fotográfica dos elementos analisados. A primeira vistoria foi realizada em dezembro de 2021 sendo analisada a maioria dos elementos e registradas todas as manifestações patológicas possíveis no momento. Devido à primeira vistoria ter sido realizada no período das chuvas na região, o acesso a partes da ponte ficou impossibilitado devido à densidade da vegetação adjacente à ponte. Dessa forma, outra vistoria foi realizada em abril de 2022 e nesta, foi possível realizar uma vistoria minuciosa dos elementos da OAE.

Segundo Verly (2015), a metodologia é composta por etapas que abrangem atividades de escritório e de campo, sendo que as etapas de campo se limitam à atribuição dos valores para os fatores de intensidade do dano e para os fatores de ponderação dano e o restante das etapas compõem as atividades de escritório. A seguir, serão detalhadas todas as etapas com ênfase na aplicação da metodologia em OAE's.

Divisão em famílias de elementos típicos

Nessa etapa os componentes de concreto da estrutura são divididos em famílias

de elementos típicos. Em tais famílias são agrupadas peças estruturais que desempenham a mesma função no conjunto da estrutura global. Com o propósito de aplicar a metodologia em OAE's, Euqeres (2011) propôs a divisão dos elementos estruturais nas seguintes famílias: barreiras de defensas e (ou) guarda-rodas, pista de rolagem, cortinas e juntas de dilatação, lajes, fundações, aparelhos de apoio, vigas secundárias, vigas principais e pilares.

Fator de ponderação de dano (F_p)

O fator de ponderação de dano consiste em um valor numérico, variando de 1 a 5, atribuído a um agente causador de deterioração na estrutura de concreto. De acordo com Castro (1994), o F_p tem o objetivo de quantificar a importância relativa de um determinado dano no que se refere às condições gerais de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma determinada família.

A ponderação do dano se faz necessária pelo fato de que uma mesma manifestação patológica pode ser mais ou menos impactante, dependendo do elemento estrutural atingido por esta. Portanto, segundo Verly (2015), uma mesma manifestação patológica pode apresentar fatores de ponderação distintos em famílias diferentes. Os valores de F_p são encontrados em formulários, apresentados por Verly (2015), que devem ser preenchidos durante a inspeção da estrutura.

Fator de intensidade de dano (F_i)

O fator de intensidade de dano consiste em um valor numérico, variando de 0 a 4, utilizado para mensurar a gravidade e o ritmo de evolução de um determinado dano. Segundo Verly (2015) o F_i tem por objetivo classificar a gravidade e a evolução isolada do dano em um determinado elemento. O autor citado anteriormente também ressalta que, diferentemente do fator de ponderação (F_p), o valor do fator de intensidade do dano (F_i), não depende do elemento estrutural observado, ou seja, é uma numeração exclusiva da manifestação patológica.

Grau de Dano (D)

O grau de dano (D) de um elemento estrutural é calculado através dos fatores de ponderação (F_p) e o fator de intensidade de dano (F_i), levando em consideração a evolução da manifestação patológica presente neste elemento, conforme modelo estruturado por Fonseca (2007) explicito nas equações (1) e (2).

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

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

Onde:

D – Grau de dano;

F_i – Fator de intensidade; e,

F_p – Fator de ponderação.

Grau de deterioração do elemento (G_{de})

De acordo com Lopes (1988), o grau de deterioração de um elemento (G_{de}) é calculado através do grau do dano (D), e tem como objetivo considerar a influência de todas as manifestações em um mesmo elemento. A obtenção do G_{de} se dá pela equação (3).

$$G_{de} = D_{máx} \cdot \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^m D(i)) - D_{máx}}{\sum_{i=1}^m D(i)} \right] \quad (3)$$

Onde:

G_{de} - Grau de deterioração do elemento;

$D_{máx}$ - Maior grau de dano associado ao elemento;

m - Número de danos encontrados no elemento; e,

D_i - Grau do dano de índice 'i'.

Após o cálculo realizado através da equação (3), é possível determinar qual o nível de deterioração do elemento da estrutura estudado de acordo com o valor obtido do G_{de} , e, com isso, adotar a ação necessária, a fim de prolongar a vida útil e a segurança deste elemento, conforme verificado na tabela.

Tabela 1 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento.

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

Fonte: Verly (2015) – Adaptado.

Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df})

O Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) tem como objetivo avaliar o conjunto de elementos pertencentes a uma mesma família, levando em consideração o G_{de} de cada elemento. Castro (1994) formulou a equação do G_{df} utilizando apenas valores com G_{de} igual ou superior a 15, a fim de caracterizar o que denominou de danos expressivos. Posteriormente Fonseca (2007) aprimorou a equação e, nos estudos de Verly (2015), mostrou-se mais eficiente a utilização de todos os valores G_{de} , ou seja, incluindo os valores menores que 15, ao contrário do que consta na equação proposta inicialmente por Fonseca e apresentado na equação (4).

$$1.1 \quad G_{df} = G_{de,máx} \cdot \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de,i}) - G_{de,máx}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}}} \quad 1.2 \quad (4)$$

Onde:

G_{df} - Grau de deterioração de uma família de elementos;

$G_{de,máx}$ - Valor máximo do grau de deterioração na família de elementos;

$G_{de,i}$ - Graus de deterioração dos elementos da família; e,

m - Número de elementos da família.

Fator de relevância estrutural da família (F_r)

Este fator tem como objetivo levar em consideração a importância relativa de uma família de elementos no comportamento e no desempenho da estrutura como um todo, dependente assim do sistema estrutural em análise (VERLY, 2015). Os valores de F_r são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Fatores de relevância estrutural (F_r).

Elemento	F_r
Barreira de defensas e/ou Guarda-rodas	1,0
Pista de rolagem	2,0
Cortinas, juntas de dilatação	3,0
Lajes, fundações, aparelhos de apoio, vigas secundárias	4,0
Vigas principais e pilares	5,0

Fonte: Euqueres (2011) – Adaptado.

Grau de deterioração da estrutura (G_d)

O cálculo do Grau de deterioração da estrutura (G_d) foi aprimorado por Verly (2015) afim de que os maiores danos das famílias sejam adicionados aos danos dos demais, representado primeiramente pelo produto dos valores de G_{df} de cada família com o fator de sua relevância, apresentado na equação (5).

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

Onde:

G_d - Grau de deterioração da estrutura;

K - Número de famílias da estrutura;

K_i - Valor do produto entre o $G_{df,i}$ e o F_r respectivo da família; e,

$K_{m\acute{a}x}$ - Maior valor do produto entre o $G_{df,i}$ e o F_r respectivo da família.

Após o cálculo realizado através da equação (5), é possível determinar qual o nível de deterioração da estrutura como um todo de acordo com o valor obtido do G_d , e, com isso, adotar a ação necessária. A classificação utilizada por Verly (2015) para classificar a estrutura é semelhante à apresentada na tabela 1.

Resultados e discussão

Manifestações patológicas

A OAE avaliada possui dois guarda-corpos dispostos acima das lajes em balanço. Nestes elementos é possível notar presença de diversas fissuras em toda sua extensão. Além disso, apesar de a face interior dos guarda-corpos terem recebido uma camada de tinta branca, percebem-se diversas manchas de umidade nas faces externas. As manifestações patológicas presentes nos guarda-corpos da ponte avaliada podem ser observadas na figura 1 a seguir.

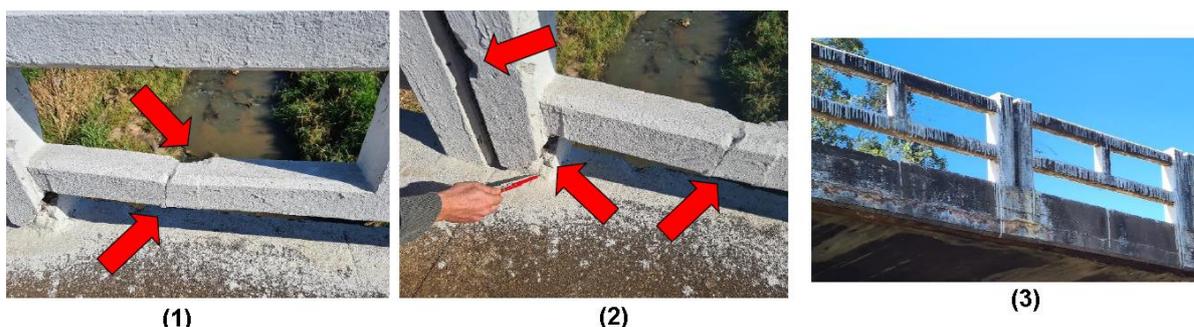


Figura 1 - Manifestações patológicas nos guarda-corpos. (1) Fissura e deslocamento. (2) Deslocamento. (3) Manchas úmidas. Fonte: Autores.

A OAE avaliada possui duas pistas de rolagem dispostas sobre as lajes principais da ponte. Nestes elementos, é possível notar presença de fissuras onde deveriam estar as juntas de dilatação. De acordo com Verly (2015), tais fissuras são comuns em estruturas com juntas de dilatação cobertas ou ausentes. Outra anomalia encontrada na pista de rolagem é o desgaste do sistema de sinalização. Apesar de existirem faixas de controle de tráfego, estas se encontram com a pintura deteriorada. As manifestações patológicas presentes nas pistas de rolagem da ponte avaliada podem ser observadas na figura 2 a seguir.

A OAE avaliada possui cinco lajes principais apoiadas sobre as vigas longarinas e transversinas que servem de suporte para as pistas de rolagem e para o canteiro central, além de duas lajes em balanço nas laterais de ponte que servem de suporte para os passeios públicos e os guarda-corpos.



Figura 2 - Manifestações patológicas nas pistas de rolagem. (1) Fissura. (2) Fissura e desgaste de sinalização. Fonte: Autores.

Nas cinco lajes principais, é possível notar que em todas elas, as extremidades são os trechos mais problemáticos. Dada a proximidade com o terreno natural, tais trechos recebem maior quantidade de umidade em relação aos outros trechos de uma mesma laje. Nos elementos estruturais L1, L2 e L5 podem-se observar manifestações patológicas como grandes porções de concreto com deslocamento, ocasionando exposição de armadura em grandes proporções, sendo possível notar que tais armaduras estão extremamente corroídas. Devido às armaduras estarem expostas, também é possível observar cobrimento de concreto insuficiente nas lajes. Algumas manifestações patológicas presentes nos elementos L1, L2 e L5 da ponte avaliada podem ser observadas na figura 3.

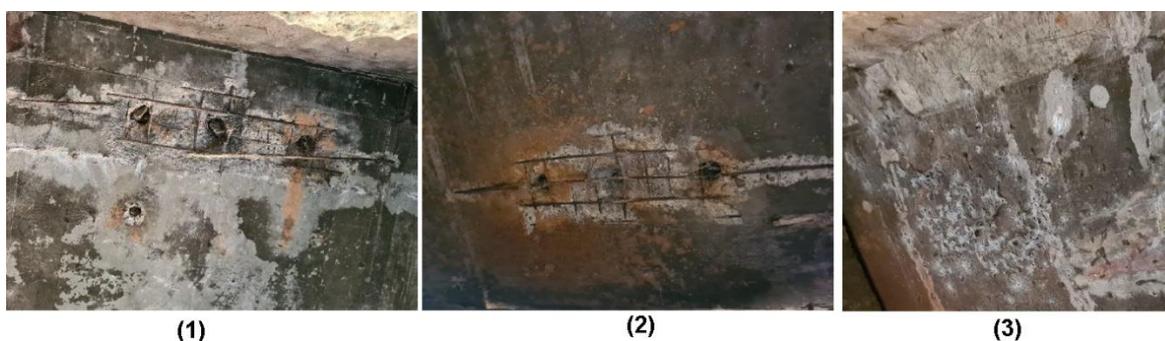


Figura 3 - Manifestações patológicas nas lajes – Elemento L1, L2 e L5. (1) Deslocamento do concreto com exposição de armadura em L1. (2) Corrosão das armaduras e manchas de umidade em L2. (3) Manchas de eflorescência e umidade em L5. Fonte: Autores.

A OAE avaliada possui seis vigas transversinas que servem de apoio para as lajes principais, sendo que as transversinas das extremidades também auxiliam no apoio das lajes em balanço. Dentre as seis vigas transversinas, as vigas das extremidades, próximas ao encontro da ponte com o terreno natural (elementos VT1 e VT6) são as mais problemáticas. Pela proximidade com o terreno natural, tais vigas recebem maior quantidade de umidade em relação aos outros elementos desta família. Nos elementos VT1 e VT6 é possível observar manifestações patológicas como deslocamento de concreto de grandes proporções com exposição de armadura, sendo que tais armaduras expostas se encontram corroídas e danificadas. A figura 4 aponta as manifestações de tais transversinas.



Figura 4 - Manifestações patológicas nas vigas transversinas – Elemento VT1 e VT2. (1) Deslocamento com exposição de armadura corroída e pontos de falha de concretagem – VT1. (2) Cobrimento insuficiente e manchas de umidade VT2. Fonte: Autores.

A OAE avaliada possui seis vigas longarinas que servem de apoio para as lajes principais, sendo que as longarinas das extremidades também auxiliam no apoio das lajes em balanço. Dentre as seis vigas longarinas, as vigas centrais VL3 e VL4, são as que apresentam maior quantidade de anomalias. Os trechos destas vigas mais próximos as vigas transversinas de extremidade, recebem maior quantidade de umidade em relação aos outros trechos destas vigas, dada a maior proximidade com o terreno natural. Nos elementos VL3 e VL4 é possível observar manifestações patológicas como falhas de concretagem e exposição de armadura, sendo que tais armaduras expostas se encontram corroídas e danificadas. Algumas manifestações patológicas presentes nos

elementos VL3 e VL4 da ponte avaliada, podem ser observadas na figura 5.



Figura 5 - Manifestações patológicas nas vigas longarinas – Elementos VL3 e VL4. (1) Falhas de concretagem com exposição de armadura corroída em VL4. (2) Focos de deslocamento em VL3. Fonte: Autores.

A OAE avaliada possui quatro vigas de travessa que auxiliam a transmissão de cargas das vigas transversinas e longarinas para os pilares. Em geral, pode-se considerar que tais elementos apresentam melhor estado de conservação em relação às lajes e vigas. As quatro vigas de travessa apresentam as mesmas manifestações patológicas. Nestes elementos é possível observar um cobrimento deficiente da camada de concreto, o que possibilita a localização visual das armaduras. Algumas manifestações patológicas presentes nos elementos VTR1 e VTR3 da ponte avaliada, podem ser observadas na figura 6.



Figura 6 - Manifestações patológicas nas vigas de travessa – Elementos VTr1 e VTr3. (1) Cobrimento insuficiente com exposição de armaduras em VTr1. (2) Cobrimento insuficiente e pequenas escamações no concreto em VTr3. Fonte: Autores.

A OAE avaliada possui oito pilares que, auxiliados dos blocos de suporte aos pilares, transmitem as cargas das vigas de travessa para as fundações. Em geral, pode-se considerar que tais elementos apresentam melhor estado de conservação em relação às lajes e vigas. Os pilares P7 e P8 apresentam as mesmas manifestações patológicas. Nestes elementos é possível observar a desagregação do concreto dos pilares na região de encontro com seus blocos de suporte, caracterizados pelo esfarelamento do material o que possibilita a localização visual das armaduras. As manifestações patológicas presentes nos elementos P7 da ponte avaliada podem ser observadas na figura 7.

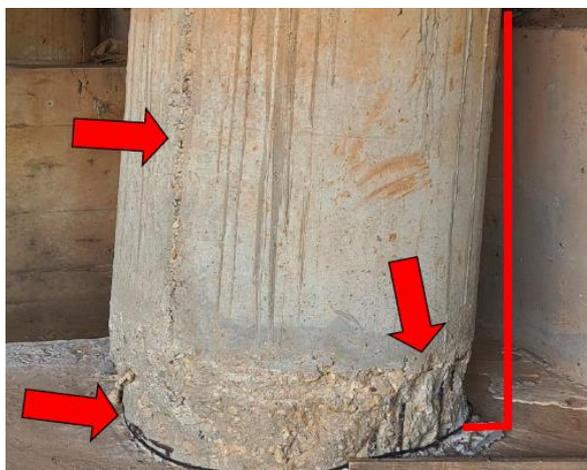


Figura 7 - Manifestações patológicas nos pilares – Desagregação do concreto, cobrimento insuficiente, falha de concretagem e desvio de geometria em P7. Fonte: Autores.

A OAE avaliada possui sete blocos de suporte aos pilares com função de estabilizar os pilares e auxiliar a transmissão das cargas para as fundações. É importante ressaltar que o bloco BP3 engloba os pilares P3 e P4, por isso a quantidade de blocos de suporte é inferior ao número de pilares. Em geral, pode-se considerar que tais elementos apresentam melhor estado de conservação em relação às lajes e vigas. Com exceção ao bloco BP3, é possível observar em todos os elementos desta família, algumas manchas de umidade de baixa extensão e algumas regiões de pequenos deslocamentos. Nos blocos BP5, BP6 e BP7 foi possível observar pequenas falhas de concretagem. No bloco BP3 não foi observada nenhuma manifestação patológica. Algumas manifestações patológicas presentes nos elementos desta família podem ser observadas na figura 8.



Figura 8 - Manifestações patológicas nos blocos de suporte aos pilares – Elementos BP1 e BP6. (1) Manchas de umidade em BP1. (2) Pequenos deslocamentos em BP6. Fonte: Autores.

A OAE avaliada possui cinco blocos de suporte às fundações com função de estabilizar os pilares e seus blocos de suporte bem como transmitir as cargas para o terreno natural. É importante ressaltar que os blocos BF1 a BF3 englobam um conjunto de dois pilares e os blocos BF4 e BF5 recebem os pilares P7 e P8 individualmente, sendo blocos de menor dimensão que os anteriores. Com exceção ao bloco BF1, pode-se considerar que tais elementos apresentam melhor estado de conservação em relação às lajes e vigas. O bloco BF1 é o que apresenta as condições de conservação mais severa. Além de manchas de umidade de baixa extensão, foi possível observar alguns pontos de desagregação do concreto e de falhas de concretagem. O elemento em questão também apresenta um estufamento no concreto provocando um desvio de geometria. Algumas manifestações patológicas presentes no elemento BF1 podem ser observadas na figura 9.



Figura 9 - Manifestações patológicas nos blocos de suporte às fundações – Elemento BF1. (1) Desvio de geometria e falhas de concretagem. (2) Manchas de infiltração. Fonte: Autores.

A OAE avaliada possui três cortinas de contenção que possuem a função de impedir novos deslizamentos de terra. Dessas cortinas, duas delas se encontram posicionadas na face leste e uma delas, a cortina C1, na face oeste. É importante ressaltar que diferente da face leste, a face oeste não possui estruturas de contenção de terra abaixo da viga transversina de extremidade, sendo possível observar o terreno natural com situação grave de erosão, como pode ser observado na figura 10. A função da cortina C1 é impedir que novos deslizamentos pudessem carregar terra ao leito do rio e não apresenta manifestações patológicas.

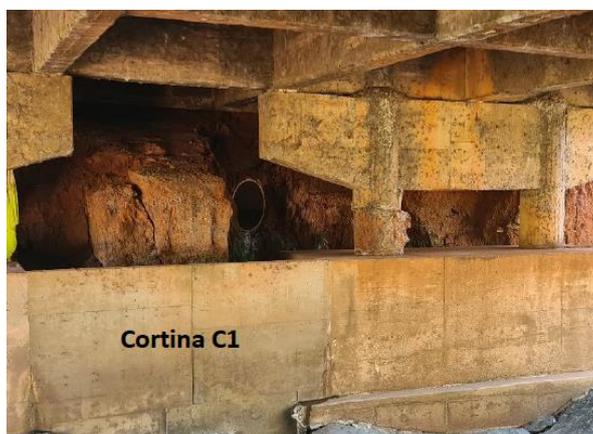


Figura 10 - Face Oeste com erosão no terreno natural. Fonte: Autores.

Aplicação do método e análises

O cálculo do grau de deterioração estrutural do edifício, mediante o uso da metodologia GDE/UnB, permitiu a avaliação quantitativa e qualitativa do estado de conservação tanto dos elementos da estrutura como da OAE como um todo.

Através do mapeamento das manifestações patológicas que acometem o edifício, foi possível observar 150 anomalias, divididas em dez tipos diferentes. Entre estes, 19,33% das manifestações patológicas são manchas de umidades e 18,67% são cobrimentos das armaduras insuficientes sendo os defeitos mais frequentes na estrutura, como pode ser observado na figura 11 abaixo. Além destas, outras manifestações patológicas como as eflorescências, deslocamentos e falhas de concretagem aparecem em frequência relativamente alta nos elementos. As manifestações patológicas menos

frequentes são os pontos de infiltração de água com 1,33% das aparições seguido pelos desvios de geometria com frequência de 2%.

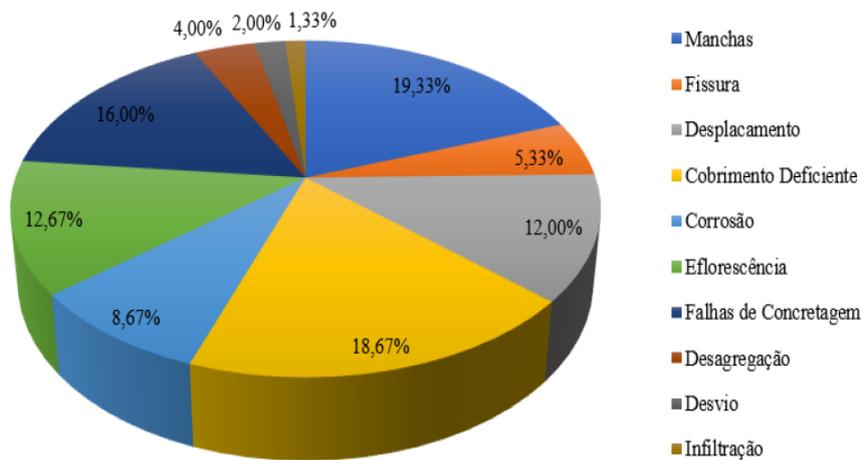


Figura 11 - Frequência das manifestações patológicas nos elementos. Fonte: Autores.

Este levantamento também permitiu verificar a frequência das manifestações patológicas que incidem sobre as famílias de elemento. As lajes, que apresentam 22,00% do total das manifestações patológica sendo a família com maior frequência de anomalias, seguida das vigas longarinas com 20,00% e as vigas transversinas com 18,67% das aparições, como é possível observar na figura 12 abaixo. A pista de rolagem, as cortinas de contenção, os guarda-corpos e os blocos de fundação são as famílias que apresentam menor quantidade de manifestações patológicas.

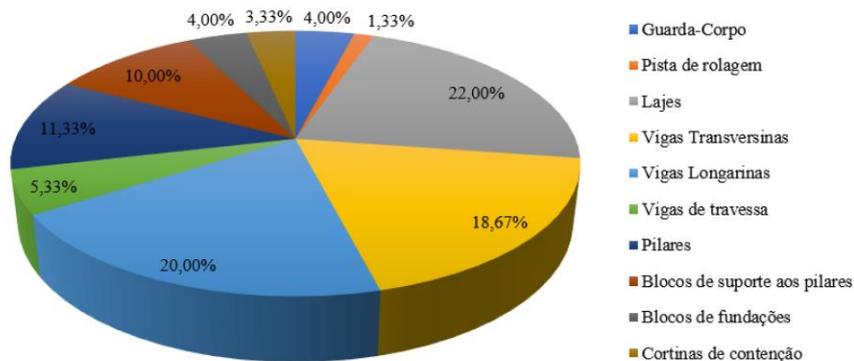


Figura 12 - Frequência das manifestações patológicas nas famílias de elementos. Fonte: Autores.

Em relação à aplicação da metodologia GDE/UnB (2015), é possível observar que o número de manifestações patológicas detectadas não é o fator de maior relevância na determinação do grau de deterioração de um elemento e sim a condição das anomalias observadas. Dessa forma, mesmo que uma família de elementos apresente uma quantidade numérica maior de manifestações patológicas o valor do grau de deterioração da família não será necessariamente maior.

A partir da determinação do valor de G_{de} de todos os elementos da OAE avaliada, foi possível concluir que as manifestações patológicas mais impactantes nestes elementos foram as corrosões acentuadas e as manchas de umidade de grande extensão, pois geram os maiores valores de dano (D) calculado.

O cálculo do valor de G_{de} também permitiu classificar o nível de deterioração. Dos 50 elementos vistoriados, os níveis de deterioração de 24 delas foi classificado com baixo, 13 como médio, 6 como alto e 7 como crítica. Nenhum dos elementos recebeu a classificação de nível de deterioração como sofrível. A figura 13 mostra a distribuição percentual dos elementos em relação a classificação do nível de deterioração.

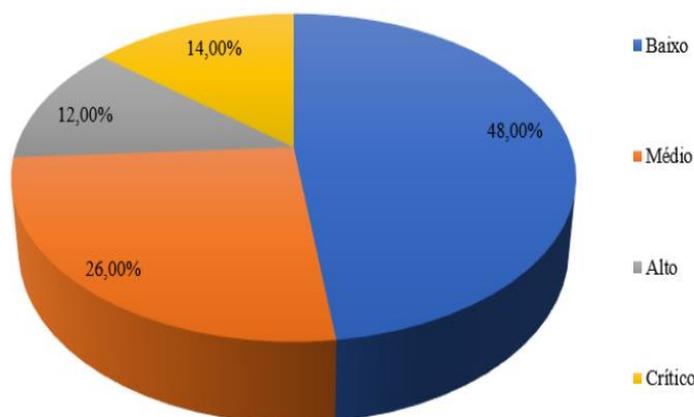


Figura 13 - Frequência de elementos quanto a classificação do nível de deterioração. Fonte: Autores.

Uma das características peculiares da metodologia GDE/UnB é que existe uma relação de proporcionalidade entre os valores de G_{df} de uma família e o valor do G_{de} do elemento mais degradado. Entretanto, a consideração de valores baixos de G_{de} tem uma implicação direta, mesmo que pouco significativa, nas suas respectivas famílias, uma vez que a equação multiplica o maior valor de G_{de} pelo valor da raiz quadrada, que

numericamente é sempre maior que a unidade. Ou seja, a consideração de qualquer elemento, mesmo com valores baixos de G_{de} , fará com que o valor do G_{df} aumente, mostrando que qualquer elemento danificado contribui para agravar o nível de deterioração da sua família.

Semelhante ao que ocorre com o G_{de} , a determinação do valor numérico de G_{df} permite avaliar qual a família mais degradada da estrutura como um todo. A figura 14 mostra os valores de G_{df} de cada família em comparação com o valor de G_d , usado para avaliar o estado global da estrutura. Nesta imagem pode-se observar que as lajes e vigas transversinas são as famílias de elementos estruturais mais degradadas.

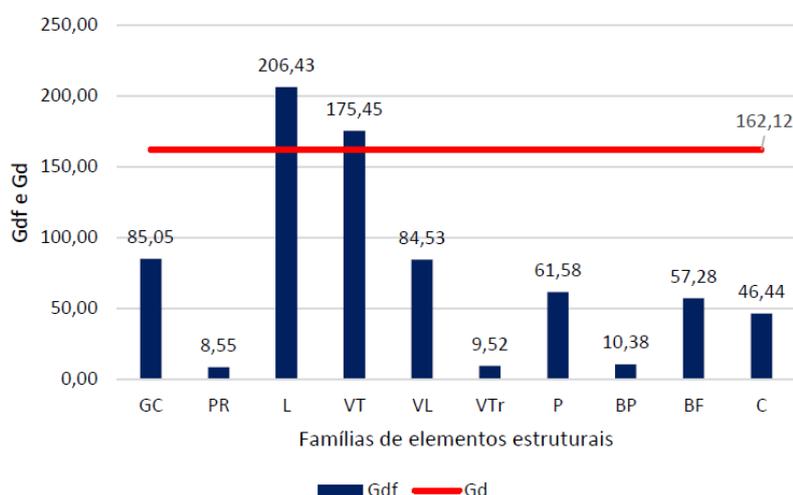


Figura 14 - Grau de deterioração das famílias de elementos. Fonte: Autores.

Também se observa que a família mais degradada, ou seja, com maior valor de G_{df} , não necessariamente será a família que terá um maior impacto no grau de dano global da estrutura (G_d). A equação (5) fornece o valor de G_d a partir do fator K , que corresponde ao produto entre o G_{df} e o fator de relevância estrutural (F_r) de determinada família. Portanto, é possível que uma família com maior valor de G_{df} resulte em um K menor, tendo assim, menor impacto no cálculo de G_d .

Conclusões

As inspeções visuais realizadas in loco possibilitaram identificar 10 tipos de manifestações patológicas distintas, totalizando 150 anomalias encontradas. As

manchas de umidade com 19,33% das aparições, os cobrimentos deficientes com 18,67% e as falhas de concretagem com 16,00% foram às manifestações patológicas mais frequentes nos elementos das estruturas. Embora se apresentem em menor quantidade, as armaduras corroídas e as manchas de umidade foram as anomalias que mais tiveram impacto no nível de degradação da estrutura. O excesso de manifestações patológicas revela a inexistência de uma rotina de manutenção efetiva, sendo que essa se restringe a manutenções nos elementos do tabuleiro.

A metodologia GDE/UnB permitiu determinar o grau de deterioração (G_{de}) dos 50 elementos da estrutura vistoriados e definir a prioridade de manutenção e seu respectivo prazo de intervenção. Destes elementos as lajes centrais da ponte (tabuleiro) e as vigas transversinas de extremidade foram os elementos mais degradados, sendo que tais elementos constituem as famílias mais deterioradas da OAE.

A análise global da estrutura, obtida mediante a ponderação das famílias de elementos inspecionados, totalizou um $G_d = 162,12$, valor que classifica o estado de conservação da ponte como crítico e que recomenda inspeção especializada e plano de ação imediatos.

Com base nos resultados dispostos nesta pesquisa, pode-se estruturar um panorama das condições estruturais da ponte analisada, podendo servir para tomadas de decisão relacionada aos planos de manutenção. Considerando os danos mais graves que requerem cuidado imediato em elementos isolados, mostra-se a importância da análise individual de cada elemento. Valida-se então a aplicação da metodologia GDE/UnB e recomenda-se sua aplicação periódica (no máximo a cada cinco anos) para acompanhar e mensurar o agravamento dos danos, gerando um banco de dados que auxiliará no constante desenvolvimento e aperfeiçoamento da metodologia, principalmente no uso de pontes e viadutos de concreto armado.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452 - Vistorias de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2016.

CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado**. 139 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, 1994.

EUQUERES, P. **Metodologia de inspeção de pontes de concreto armado**. 168 p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2011.

FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção**. 213 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, 2007.

JORNAL O POPULAR. **Quase 80% das pontes e viadutos de Goiânia possuem problemas estruturais provocados por umidade**. 2019. Disponível em: <<https://www.opopular.com.br/noticias/cidades/quase-80-das-pontes-e-viadutos-de-goi%C3%A2nia-possuem-problemas-estruturais-provocados-por-umidade-1.1749713>>. Acesso em: 20 maio 2019.

LOPES, B. A. R. **Sistema de Manutenção Predial para Grandes Estoques de Edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”**. 308 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, 1998.

JORNAL CORREIO BRAZILIENSE. **Queda de viaduto na Galeria dos Estados completa 1 ano**. 2019. Disponível em: <<http://especiais.correio braziliense.com.br/queda-de-viaduto-na-galeria-dos-estados-completa-1-ano>>. Acesso em: 07 maio 2019.

VERLY, R. C et al. **Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais**. 34 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, 2015.

VERLY, R. C. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em Obras de Arte Especiais**. 178 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, 2015.