CBPAT 2020 ANAIS
CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
DE 15 A 17 DE ABRIL | FORTALEZA - CE
http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.242
ISBN 978-65-86819-05-2

AVALIAÇÃO TEÓRICA DAS METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO VISUAL DE PONTES RODOVIÁRIAS PARA FINS DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÕES

THEORETICAL EVALUATION OF VISUAL INSPECTION METHODOLOGIES FOR HIGHWAY BRIDGES MAINTENANCE MANAGEMENT

GONÇALVES FILHO, EDSON
Estudante de graduação
CEFET-MG – Curvelo
Minas Gerais; Brasil
edson.gonfilho@gmail.com

GREGÓRIO PACHECO, SÍLVIA
Estudante de graduação
CEFET-MG – Curvelo
Minas Gerais; Brasil
silvia.gpacheco@hotmail.com

PENA BORTONE, THIAGO
Professor EBTT
CEFET-MG – Curvelo
Minas Gerais; Brasil
thiago.bortone@cefetmg.br

DE PAULO RAMOS, MARCOS
Professora EBTT
CEFET-MG – Curvelo
Minas Gerais; Brasil
marcos.ramos@cefetmg.br

JARDIM MARTINI, RACHEL
Professora EBTT
CEFET/MG
Minas Gerais; Brasil
martini@cefetmg.br

PATRÍCIA FERREIRA, LUCIANA
Professora EBTT
CEFET-MG – Curvelo
Minas Gerais; Brasil
lupiferreira@cefetmg.br

RESUMO

Pontes e viadutos são importantes Obras de Arte Especiais (OAE's) utilizadas para viabilizar deslocamentos sobre obstáculos e facilitar a logística de tráfego de maneira eficiente interferindo significativamente no desenvolvimento econômico do país. Contudo, para que a OAE atenda às exigências de projeto quanto à carga resistente e vida útil, são necessárias manutenções no tempo adequado que minimizam os efeitos do processo de deterioração natural dos materiais. Em um cenário de gerenciamento de muitas pontes rodoviárias, são necessários critérios de priorização de manutenção. Para tanto, há variadas metodologias para análise do grau de deterioração da OAE. Esta pesquisa tem por objetivo comparar, de maneira teórica, três metodologias distintas de inspeção visual de pontes rodoviárias em concreto armado: ABNT NBR 9452 (2019), Norma DNIT 010-PRO (2004) e Metodologia GDE/UnB (Verly, 2015). Foi realizada uma comparação teórica entre os critérios de avaliação especificados nas normas e manuais específicos de cada metodologia, a fim de serem identificadas as diferenças e semelhanças entre estas. Preliminarmente, percebe-se que a metodologia GDE/UnB, adaptada por Verly (2015), possibilita a obtenção de resultados mais escalonados, o que facilita a gestão de manutenção dessas estruturas, priorizando assim, ações imediatas.
Palavras-chave: durabilidade, manutenção, inspeção, critério de avaliação.

ABSTRACT

Bridges and viaducts are important civil structures used to enable displacement over obstacles and facilitating traffic logistics efficiently, significantly interfering with the economic development of the country. However, for these structures to meet design requirements for ultimate load and service life, timely maintenance is required to minimize the effects of the natural deterioration process of materials. In a scenario of management of many highway bridges, maintenance prioritization criteria are required. To this end, there are various methodologies for analyzing the degree of deterioration of those structures. This research aims to compare, in theoretical way, three distinct methodologies for visual inspection of reinforced concrete highway bridges: ABNT NBR 9452 (2019), Standard DNIT 010-PRO (2004) and GDE/UnB (Verly, 2015). A theoretical comparison was made between the evaluation criteria adopted in the standards and specific manuals for each methodology, in order to identify the differences and similarities between them. Preliminarily, the GDE/UnB methodology, adapted by Verly (2015) makes it possible to obtain more scaled results, which facilitates the maintenance management of those structures, prioritizing immediate actions.
Keywords: durability, maintenance, inspection, evaluation criteria.

ISBN 978-65-86819-05-2

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a humanidade passou por processos de desenvolvimento dos quais surgiram necessidades de locomoção, como ultrapassar obstáculos para busca de alimentos ou mesmo para exploração de um espaço ainda desconhecido. Nesse desenvolvimento, a mobilidade humana evoluiu da utilização de troncos de árvores à construção de pontes e viadutos para viabilização de deslocamentos sobre grandes vãos, rios ou mesmo outras vias.

Marchetti (2008) define como ponte a obra destinada a transposição de rios para a continuidade de uma via de comunicação. Define ainda por viaduto quando este obstáculo transposto se trata de um vale ou outra via. Essas obras, conforme observa Mitre (2005), são definidas como Obras de Arte Especiais (OAE's), e permitem deslocamentos estratégicos e eficientes, reduzindo custo e tempo na movimentação de cargas ou pessoas.

Porém, os materiais componentes de uma OAE sofrem deterioração ao longo do tempo, implicando em uma possível alteração do seu comportamento, podendo ocorrer a perda do desempenho estrutural proposto no projeto inicial (GOMES; XAVIER; FRANCISCO, 2018). Nesse sentido, a Norma Técnica Brasileira - NBR 6118 (ABNT, 2014) determina que as estruturas de concreto não podem comprometer parcial ou totalmente o uso para o qual a obra foi projetada, devendo manter o desempenho em serviço.

A durabilidade das obras está relacionada à sua vida útil e, durante esse período, devem ser mantidos os requisitos de funcionalidade, segurança, estética, economia e durabilidade nas OAE's (MARCHETTI, 2008). Para isso, são necessárias intervenções adequadas no tempo certo, evitando que os dependentes destas OAE's sejam prejudicados financeiramente ou tenham a segurança ameaçada por falha das obras.

Para que as intervenções e manutenções ocorram na OAE em tempo adequado são necessárias ferramentas de controle com banco de dados, do qual possam ser extraídas informações do estado da obra, prazo de inspeções ou características construtivas. Em um universo de administração de muitas OAE's é imprescindível um sitema de gestão de manutenções para tomada de decisão. Um sistema de gestão de OAE's tem por finalidade "determinar e implementar uma estratégia de preservação e de melhoria da infraestrutura, integrando de forma otimizada os recursos financeiros disponíveis com as atividades de manutenção" (VERLY, 2015, p. 14).

Para a alimentação de informações desse sistema de gestão de manutenções de OAE's são necessários alguns critérios de avaliação da ponte ou viaduto. São metodologias utilizadas para inspeção de OAE's: o método da NBR 9452 - Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento (ABNT, 2019), elaborado e atualizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); o método adotado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), através da Norma 010-PRO - Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento (DNIT, 2004), e o método Grau de Deterioração da Estrutura - GDE/UnB (VERLY, 2015), desenvolvido no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília.

Este trabalho tem por objetivo comparar essas três metodologias distintas de inspeção de pontes rodoviárias em concreto armado com a finalidade de identificar qual critério de avaliação pode ser mais eficiente em um sistema de gestão de manutenções de OAE's.

2. GESTÃO DE OAE'S E METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO EM PONTES RODOVIÁRIAS

De acordo com Ryall (2010), a gestão de OAE's é o meio pelo qual um grande número de obras de arte especiais são cuidadas desde a sua concepção até o fim de sua vida útil. Um sistema de gestão de pontes é um instrumento adequado para a tomada de decisões acertivas, "baseadas em parâmetros técnicos e científicos voltados à otimização dos custos de manutenção desses importantes patrimônios públicos" (VITÓRIO, 2006, p. 11).

Segundo Vitório (2006), para que haja um sistema de gestão de pontes eficiente é necessário uma interação contínua entre três fatores: desenvolvimento de um arquivo de dados, atualização permanente das informações cadastrais, e utilização dos dados obtidos para identificar os tipos de intervenção por obra.

Verly (2015) observa que há diversidade de sistemas de gestão de OAE's, sendo cada um com suas particularidades, variando de acordo com a metodologia utilizada e a competência da instituição/usuário. Geralmente, são constituídos

ISBN 978-65-86819-05-2

por uma escala qualitativa simples para caracterizar o estado de condição da OAE. Há, ainda, sistemas que relacionam os custos envolvidos na manutenção, havendo alguns que utilizam modelos para a previsão da degradação da estrutura.

Apesar da diversidade de formas de abordagem e de análise dos sistemas de gestão de OAE's, estes seguem uma estrutura básica, conforme Figura 1.

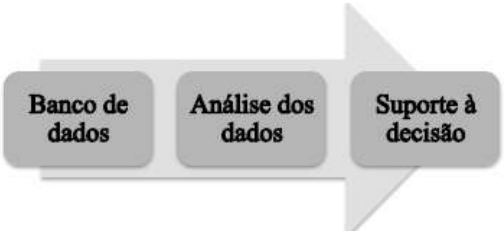


Figura 1: Fluxo de atividades em um sistema de gestão de OAE's.
Fonte: Verly (2015).

O banco de dados é composto pelas informações da OAE, envolvendo localização, características construtivas e de projeto, custos, particularidades do ambiente, dados de inspeções, reparações e outras informações que possam ser necessárias para a tomada de decisão (Figura 2). A análise dos dados é o meio pelo qual se pode definir a alocação de recursos em manutenções (VERLY, 2015). Essa análise deve permitir prever as consequências das decisões a serem tomadas, a fim de que estas tenham o melhor custo/benefício.

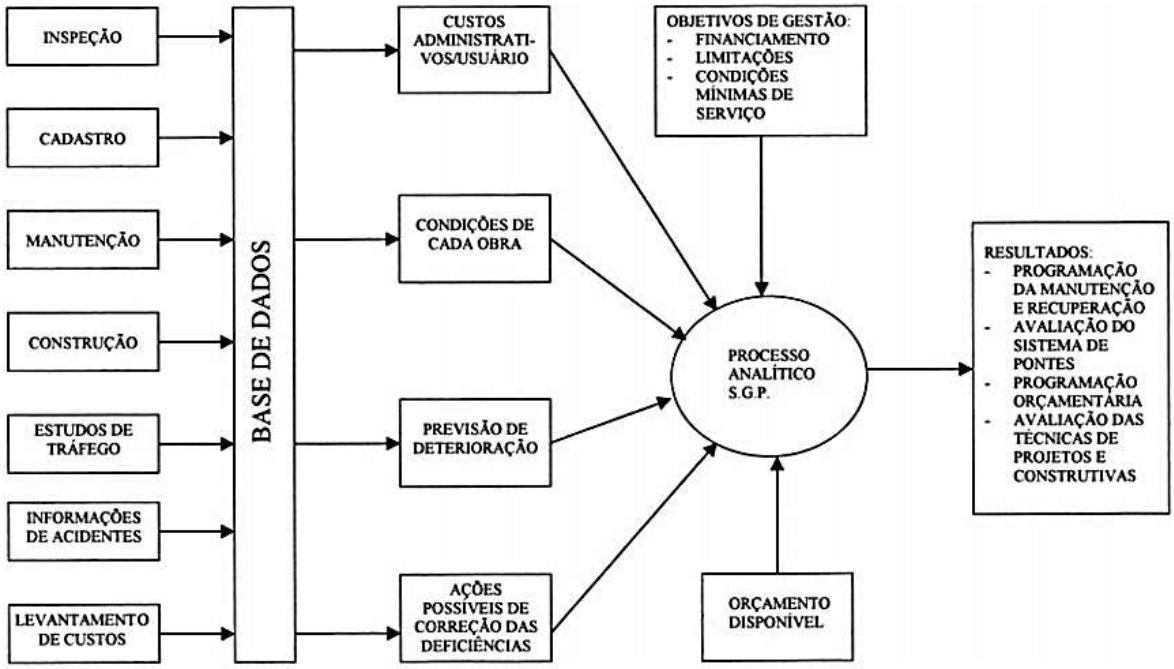


Figura 2: Diagrama de um sistema típico de gestão de pontes.
Fonte: Vitório (2006).

Para a alimentação do banco de informações (Figura 2) é necessária realização de inspeções nas OAE's seguindo algum critério de avaliação bem definido e consolidado. Atualmente, existem várias metodologias específicas para inspeção de pontes e viadutos. São exemplos: o método elaborado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) através do Laboratório de Ensaios de Modelos Estruturais (LEME), a NBR 9452 (ABNT, 2019), a Norma 010-PRO (DNIT, 2004), e o método Grau de Deterioração da Estrutura (GDE) da Universidade de Brasília (UnB). Este trabalho irá analisar as três últimas metodologias citadas.

ISBN 978-65-86819-05-2

2.1 A NBR 9452 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento

A norma de inspeção de pontes publicada pela ABNT, a NBR 9452, teve sua primeira edição em 1986, sendo revisada em 2012, 2016 e 2019. A NBR 9452 (ABNT, 2019) trata de requisitos necessários na realização de inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto e da forma de apresentação do relatório final. Esta norma classifica quatro tipos distintos de inspeção: cadastral, rotineira, especial e extraordinária.

De acordo com a NBR 9452 (ABNT, 2019), a inspeção cadastral deve ser realizada logo após o término da obra ou quando houver alterações significativas, como alargamento, acréscimo de comprimento, reforço ou mudança no sistema estrutural. O relatório elaborado após a inspeção cadastral deve possuir registro fotográfico (vista geral, vista superior, lateral e inferior do tabuleiro, elementos da mesoestrutura e da infraestrutura) e classificação da OAE de acordo com os critérios a serem especificados, além de documentos da obra, tais como projetos, memoriais e termo de recebimento da obra.

A inspeção rotineira é realizada para acompanhamento periódico da estrutura. É realizada apenas de forma visual, sem a utilização de equipamentos ou recursos especiais para análise ou acesso. A norma recomenda o intervalo máximo de um ano entre inspeções rotineiras, nas quais deve ser verificada a evolução de anomalias percebidas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências. O relatório elaborado após a inspeção rotineira deve conter informações básicas como rodovia e trecho inspecionado, classificação da OAE de acordo com critérios específicos, comentários quanto a eventuais alterações observadas na OAE, ficha de inspeção rotineira contendo registro das anomalias e registro fotográfico de mesmo modo que a inspeção cadastral.

A inspeção especial, por sua vez, é mais detalhada sendo necessário, inclusive, uso de equipamentos especiais para acesso a todos os componentes da estrutura, até mesmo em caso de elementos submersos, os quais requerem inspeção subaquática. A norma recomenda que a inspeção especial seja realizada no período máximo de cinco anos, podendo chegar a oito anos, desde que a obra seja classificada em condição boa ou excelente e tenha acesso a todos os seus elementos na inspeção rotineira. A norma orienta ainda que esta inspeção deve ser antecipada em caso de a inspeção anterior indicar necessidade de intervenção em curto prazo ou em caso de adequações de grande porte, como alargamentos, prolongamentos ou reforços.

A inspeção extraordinária não possui prazo específico para acontecer, sendo realizada sempre que houver necessidade de avaliar criteriosamente um elemento ou parte da OAE, como, por exemplo, ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra ou eventos da natureza, como sismos.

2.1.1 Critérios de classificação das OAE

A NBR 9452 (ABNT, 2019) classifica o estado dos elementos da OAE de acordo com três parâmetros: estrutural, funcional e de durabilidade. Os parâmetros estruturais são aqueles relacionados à estabilidade e capacidade portante da estrutura, de acordo com o Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS), prescritos na NBR 6118 (ABNT, 2014). Os parâmetros funcionais estão relacionados ao fim a que se destina a obra, sendo necessários guarda-corpos íntegros, ausência de depressões e/ou buracos na pista de rolamento e sinalização adequada. Já os parâmetros de durabilidade estão associados à sua vida útil, vinculando a resistência da estrutura contra ataques de agentes ambientais agressivos. Para tanto, é importante observar o cobrimento de armadura, corrosão, fissuração, erosões nos taludes de encontros e outros.

Para a classificação, são atribuídas notas de 1 a 5 para os elementos no que se refere a cada parâmetro citado. As notas são associadas a qualificações da estrutura como crítica, ruim, regular, boa ou excelente, seguindo a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Nota de Classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.

Fonte: ABNT, 2019.

ISBN 978-65-86819-05-2

Tabela 1 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade (continuação).

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

Fonte: ABNT, 2019.

A NBR 9452 (ABNT, 2019) define a nota final como a menor nota atribuída ao parâmetro analisado, de acordo com o modelo da Tabela 2.

Tabela 2 - Modelo de ficha de classificação da OAE.

Parâmetro	Elemento						
	Super estrutura	Meso Estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	Nota Final
				Estrutura	Encontro		
Estrutural							
Funcional							
Durabilidade							

Fonte: ABNT, 2019.

ISBN 978-65-86819-05-2

2.2 Norma DNIT 010/2004-PRO – Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimentos

O DNIT possui norma técnica 010-PRO (DNIT, 2004) para inspeção de pontes situadas na malha rodoviária federal.

De acordo com a essa norma, para realização de uma inspeção confiável e completa, são necessários planejamento e programação adequada, abordando o motivo da inspeção, tipo de inspeção, dimensionamento da equipe, equipamentos e ferramentas a serem utilizados, existência de projetos e relatórios de inspeções anteriores, e o período do ano mais favorável à inspeção.

Para a inspeção, a norma do DNIT orienta a sistematização do processo, utilizando para tanto fichas de inspeção. Durante a vistoria, deve haver um mínimo de seis registros fotográficos, sendo necessário observar a existência de trincas, corrosões ou outros defeitos encobertos. Sendo possível, a norma orienta ainda que a ponte seja observada durante a passagem de cargas pesadas, para verificar possíveis vibrações ou deformações excessivas.

A norma sugere que sejam observados cuidadosamente os aparelhos de apoio, uma vez que podem refletir anomalias estruturais, como recalques de apoios, mau funcionamento de juntas de dilatação, movimentação de estrados ou choques de materiais flutuantes nas grandes cheias.

Da mesma forma que a NBR 9452 (ABNT, 2019), a Norma 010-PRO (DNIT-2004) possui inspeções do tipo cadastral, rotineira, especial e extraordinária. Contudo, é adicionada uma nova inspeção definida por intermediária. A Norma 010-PRO (DNIT, 2004) sugere a inspeção intermediária para casos em que seja necessário o acompanhamento de alguma anomalia suspeita como, por exemplo, recalque de fundação, erosão incipiente ou encontro parcialmente descalçado.

A norma estabelece que as inspeções do tipo cadastral, rotineira e intermediária devem ser feitas por inspetores, auxiliados por profissional técnico de nível médio, se for necessário. Já as inspeções extraordinária e especial devem ser feitas por Inspetores Seniores, auxiliados por Consultores e Auxiliares Técnicos, caso necessário.

O Inspetor, de acordo com a Norma 010-PRO (DNIT, 2004), deve ser engenheiro diplomado, com registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA). É necessário que o inspetor para ser habilitado a inspecionar uma obra igual ou inferior a duzentos metros e que não inclui nenhuma estrutura não convencional, possuía o mínimo de cinco anos de experiência em projeto e inspeção de pontes e possua conhecimento do Manual de Inspeção de Pontes. Para ser qualificado como inspetor sênior, capaz de inspecionar obras de estrutura especial, comprimento superior a duzentos metros ou um conjunto de obras, é necessária experiência de no mínimo cinco anos em projeto execução, recuperação, reforço e reabilitação de pontes; mínimo de dez anos de experiência em inspeção de pontes e perfeito conhecimento do Manual de Inspeção de Pontes.

A classificação das pontes e viadutos pela Norma 010-PRO (DNIT, 2004), ao contrário da NBR 9452 (ABNT, 2019), baseia-se apenas na função estrutural da obra. Deve ser atribuída uma nota de 1 a 5 de acordo com a gravidade das deficiências verificadas na estrutura, observada a Tabela 03. A nota final da ponte corresponde a menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural.

Tabela 3 - Classificação da OAE de acordo com a Norma 010-PRO (DNIT, 2004).

NOTA	DANOS NO ELEMENTO / INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL	AÇÃO CORRETIVA	CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA PONTE
5	Não há danos nem insuficiência estrutural.	Nada a fazer.	Boa	Obra sem problemas
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural.	Nada a fazer; apenas serviços de manutenção.	Boa	Obra sem problemas importantes

Fonte: DNIT, 2004.Tabela 3 - Classifcicação da OAE de acordo com a Norma 010-PRO (DNIT, 2004) (continuação).

ISBN 978-65-86819-05-2

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

Fonte: DNIT, 2004.

2.3 Metodologia GDE/UnB

Na metodologia GDE/UnB é necessário separar os componentes de uma OAE em famílias de elementos típicos e para cada elemento de uma família deve se ponderar um fator de dano e atribuir um fator de intensidade do dano. A partir desses fatores, calcula-se o grau de dano equivalente aos fatores atribuídos, o grau de deterioração do elemento, o grau de deterioração da família de elementos e, após introduzir um fator de relevância dessa família, calcular o grau de deterioração da estrutura. A aplicação desta metodologia segue a Figura 3.

ISBN 978-65-86819-05-2

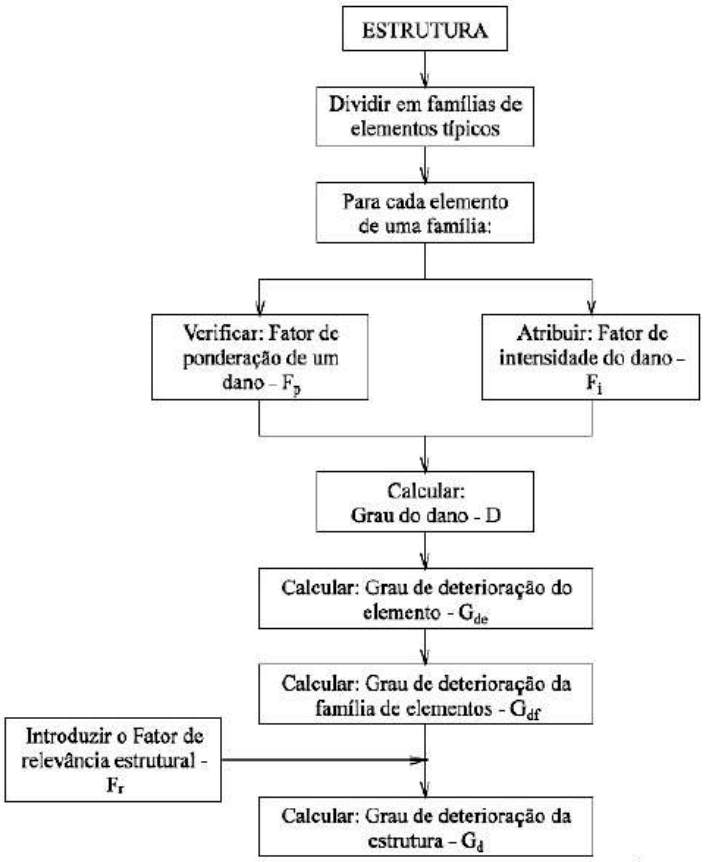


Figura 3: Fluxograma para avaliação quantitativa.
Fonte: Verly (2015).

2.3.1 Divisão em famílias de elementos típicos

Nessa etapa, os elementos são agrupados de acordo com características e funções semelhantes.

2.3.2 Fator de ponderação do dano (F_p)

O fator de ponderação do dano relaciona o dano observado com as condições de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma determinada família. A partir disso, uma mesma patologia pode possuir fatores de ponderação diferentes, a depender de onde está localizada (VERLY, 2015).

2.3.3 Fator de intensidade do dano (F_i)

O objetivo do fator de intensidade do dano é atribuir valores correspondentes à gravidade e evolução do dano em um determinado elemento. Varia de 0 a 4, sendo 0 elementos sem lesões a 4 elementos em estado crítico. Para este fator, é importante observar a profundidade do dano, ambiente onde o dano se encontra e deformações aparentes.

2.3.4 Grau do dano (D)

O grau do dano é fator que relaciona o fator de intensidade e o fator de ponderação a partir das Equações 01 e 02.

$$D = 0{,}8 \cdot Fi \cdot Fp \qquad Para\ Fi \leq 2{,}0 \qquad \text{(Equação 01)}$$

$$D = (12 \cdot Fi - 28)Fp \qquad Para\ Fi \geq 3{,}0 \qquad \text{(Equação 02)}$$

2.3.5 Grau de deterioração do elemento (G_{de})

A partir da Equação 03 é possível analisar os efeitos dos danos no elemento. Essa equação foi proposta por Lopes (1998) a fim de que aos efeitos do maior dano sejam adicionados os efeitos dos demais.

ISBN 978-65-86819-05-2

$$G \quad \left[1 \quad \frac{(\Sigma}{\Sigma}\right] \qquad \text{(Equação 03)}$$

Onde:
D_i: grau do dano de índice "i";
$D_{máx}$: maior grau do dano encontrado no elemento;
G_{de}: grau de deterioração do elemento;
n: número de danos encontrados no elemento.
A partir do valor encontrado na equação 03 têm-se o nível de deterioração e ações a serem recomendadas, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Nível de Deterioração.

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

Fonte: Verly, 2015.

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

O G_{df} apresenta o grau de deterioração dos elementos pertencentes a uma mesma família. Para tanto, utiliza os valores de Gde de cada elemento da família que está sendo analisada (Equação 04).

$$\sqrt{1 \quad \frac{(\Sigma}{\Sigma}} \qquad \text{(Equação 04)}$$

Onde:
G_{df}: grau de deterioração de uma família de elementos;
$G_{de,max}$: Maior grau de deterioração encontrado na família de elementos
$G_{de,i}$: Graus de deterioração apresentados pelos elementos da família (≥15);
m: número de elementos com G_{de}≥15.

2.3.7 Fator de relevância estrutural da família (F_r)

O F_r tem por objetivo graduar a importância da família de elementos análise no comportamento e no desempenho do sistema estrutural da OAE avaliada (Tabela 5).

Tabela 5 - Fator de relevância de acordo com a família de elementos.

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

Fonte: Verly, 2015.

ISBN 978-65-86819-05-2

2.3.8 Grau de deterioração da estrutura ($G_{d,mod}$)

Verly (2015) apresenta a Equação 05 como alternativa para cálculo do grau de deterioração da estrutura modificado ($G_{d,mod}$).

$$\sqrt{1 \quad \frac{(\Sigma}{\Sigma}} \qquad \text{(Equação 05)}$$

Onde:
$G_{d,mod}$: grau de deterioração da estrutura modificado;
k: número de famílias da estrutura;
K: produto do $G_{df,i}$ pelo respectivo F_r;
$K_{máx}$: maior valor do produto do $G_{df,i}$ pelo respectivo F_r.

3. METODOLOGIA

A NBR 9452 (ABNT, 2019) e a Norma 010-PRO (DNIT, 2004) possuem quatro e cinco tipos de inspeção, respectivamente. Contudo, foi utilizada a inspeção rotineira definida em ambas as normas citadas para efeitos de comparação neste trabalho. Conforme observa Verly (2015), a definição de inspeção rotineira atribuída pelo DNIT, bastante similar à definição adotada pela ABNT, "[...] deixa claro que se trata de uma inspeção simplesmente visual, em que são identificados os danos existentes na estrutura[...]." (VERLY, 2015, p. 59). Considerando, pois, que a metodologia GDE adaptada por Verly (2015) é também visual, as três inspeções são compatíveis para comparação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As três metodologias apresentadas guardam semelhanças e diferenças na avaliação do estado de uma OAE. A NBR 9452 (ABNT, 2019) e a Norma 010-PRO (DNIT, 2004) apresentam maior similaridade tanto nos tipos de inspeção e escala de classificação. Já a metodologia GDE/UnB é mais detalhista e pondera as patologias de acordo com o elemento atingido e a intensidade com que atinge o elemento. A Tabela 6 apresenta comparação entre as metodologias.

Tabela 6 – Comparação das metodologias de inspeção de OAE.

Metodologia	NBR 9452	Norma 010-PRO	GDE/UnB
Ano da última revisão	2019	2004	2015
Elaborador	ABNT	DNIT	Verly
Número de inspeções e tipos	4 – cadastral, rotineira, especial e extraordinária.	5 – cadastral, rotineira, intermediária, especial e extraordinária.	1 – inspeção visual.
Parâmetros	Estrututural, funcional e de durabilidade.	Estrutural	Estrutural
Escala de classificação	1 a 5 (números inteiros)	1 a 5 (números inteiros)	Mínimo 0. Não limitada. (números decimais)
Número de níveis de classificação	5	5	5

Fonte: autores.

A NBR 9452 (ABNT, 2019) e a Norma 010-PRO (DNIT, 2004) possuem semelhança na escala de classificação: ambas caracterizam a condição da OAE, atribuindo valores inteiros para os elementos, no qual 1 é condição crítica ou precária e 5 é condição excelente ou sem necessidade de alterações. Ainda que com um novo tipo de inspeção, a Norma 010-PRO (DNIT, 2004) ao incluir a inspeção intermediária, é semelhante a antecipar a inspeção rotineira, não trazendo diferenças significativas. Deve-se atentar, contudo, aos parâmetros da NBR 9452 (ABNT, 2019) que avalia as condições de funcionalidade e durabilidade da OAE. Trata-se de uma forma diferente de abordagem que pode ser eficiente na análise de elementos que, ainda que não possuam função estrutural, são importantes na conservação da ponte ou viaduto.

ISBN 978-65-86819-05-2

Observa-se que, ainda que a metodologia GDE/UnB possui uma escala maior de classificação qualitativa da OAE, contém, assim como as outras metodologias comparadas, 5 níveis de classificação, variando o nível de deterioração de baixo a crítico.

As três metodologias comparadas carregam subjetividade da análise do inspetor, responsável pela atribuição de notas, ainda que com o suporte das Tabelas 01 e 03 e fatores específicos da metodologia GDE/UnB. Todavia, ao relacionar fatores de ponderação, intensidade e grau de dano, a metodologia GDE/UnB tende a traduzir um valor com menor probabilidade de vícios de avaliação.

Considerando um sistema de gestão de manutenção de OAE, composto de uma quantidade significativa de pontes e viadutos, verifica-se que a classificação por meio da NBR 9452 (2019) e Norma 010-PRO (2004) oferecem o mesmo atributo qualitativo para muitas OAE's, isso porque a qualificação se limita a 5 valores inteiros na escala de classificação. Divergente a este fator, quando da aplicação das equações da metodologia GDE/UnB, tem-se valores escalonados a partir do valor 0, facilitando análises e categorização das OAE's.

Comparando a inspeção visual da metodologia GDE/UnB com as inspeções rotineiras da NBR 9452 (2019) e Norma 010-PRO (2004), a primeira apresenta maior capacidade de suporte de decisão em um sistema de gestão de OAE's. Os outros tipos de inspeções (cadastral, especial e extraordinária), contudo, são de grande importância na alimentação do banco de informações e indispensáveis para a análise de dados.

6. CONCLUSÕES

A partir da comparação entre as metodologias NBR 9452 (ABNT, 2019), Norma DNIT 010-PRO (DNIT, 2004) e Metodologia GDE/UnB (VERLY, 2015), verifica-se que as mesmas possuem semelhanças em critérios de avaliação nas inspeções rotineiras e inspeção visual do método GDE/UnB. Contudo, a forma escalonada com que apresenta os resultados da aplicação da metodologia GDE/UnB, favoritiza o uso desse método em um sistema de gestão de manutenção de OAE's. Os outros tipos de inspeção, porém, são informações indispensáveis para alimentação do banco de dados.

Deve-se destacar, porém que independente da metodologia utilizada para alimentar um sistema de gestão de OAE, há outros fatores que influenciam a tomada de decisões, como experiência do inspetor, questões políticas e necessidades da comunidade local, que não são possíveis de quantificação e inserção no banco de dados.

Observada a eficiência da metodologia GDE/UnB no suporte de decisões, sugere-se pesquisas com o objetivo de relacionar o fator de ponderação da família de elementos típicos ao custo de cada componente, além de variar o fator de intensidade da patologia com a capacidade desta acelerar o processo de deterioração do material que compõe a estrutura.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG pelo apoio direto e indireto a este trabalho. Também agradecemos ao apoio do LAR - Laboratório de Avaliação e Reabilitação de Ambiente Construído do CEFET-MG - Campus Curvelo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 9452:** Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002.

ISBN 978-65-86819-05-2

CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994.

CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48º, 2006, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. IBRACON, 16 p. Disponível em: http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Vistorias_Conservacao_Gestao_Pontes_Viadutos_Concreto.pdf. Acesso em: 7 jan. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **010/2004-PRO**: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2004. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dnit010_2004_pro.pdf>. Acesso em: 17 set. 2019.

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

GOMES, M. E. A.; XAVIER, T. J. B.; FRANCISCO, R. A. **Levantamento e Cadastramento de Patologias Estruturais utilizando fotografias termográficas e drones na composição de banco geográficos.** Projeto de Iniciação Científica - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.publicacoes.uniceub.br/pic/article/view/5774/4037>. Acesso em: 02 set. 2019.

LOPES, B. A. R. **Sistema de manutenção predial para grades estoques de edifícios**: Estudo para inclusão do componente "Estrutura de Concreto". Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998.
MARCHETTI, O. **Pontes de Concreto Armado.** São Paulo: Blucher, 2008.

MITRE, M. P. **Metodologia para Inspeção e Diagnóstico de Pontes e Viadutos de Concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RYALL, M. J. ***Bridge management***. 2 ed. Oxford: Elsevier, 2010. 560 p.

VERLY, R. C. **Avaliação de Metodologias de Inspeção como Instrumento de Priorização de Intervenções em Obras de Arte Especiais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.