



Avaliação das Manifestações Patológicas em Obras de Arte Especiais em Vigas Protendidas de Rodovias Federais no Estado do Paraná

Gean Marcos Baldessar Warmling¹, Mauro Lacerda Santos Filho², Fábio Albino de Souza³, Ricardo Pieralisi⁴

¹ Universidade Federal do Paraná / bwgean@gmail.com

² Universidade Federal do Paraná / maurolacerda1982@gmail.com

³ Instituto IDD / eng.fabio.35@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Paraná / ricpieralisi@ufpr.br

Resumo

As normas vigentes no Brasil relacionadas à inspeção e avaliação de Obras de Arte Especiais (OAEs) estão baseadas na observação de elementos estruturais de forma individualizada, sendo a nota da obra a menor nota atribuída a um elemento, o que muitas vezes não representa o real estado da OAE. Além disso, em muitos casos as normas deixam a cargo dos inspetores o julgamento em relação à condição da estrutura, impondo muita subjetividade ao processo. Visando melhorar o processo de inspeção e avaliação de OAEs, esse artigo apresenta uma nova metodologia considerando critérios mais objetivos. O propósito do modelo é fornecer uma lista com a classificação das OAEs ao invés de patamares, como atualmente é feito. A classificação das OAEs em relação à performance permite estabelecer de forma sistemática as ações de manutenção a serem executadas com base na posição da obra numa lista geral, auxiliando uma aplicação mais eficiente dos recursos. A metodologia desenvolvida foi aplicada em 181 obras localizadas em rodovias federais no Estado do Paraná. Os dados das inspeções foram inseridos numa ferramenta computacional que permite a aplicação de filtros, facilitando a análise dos dados disponíveis. No presente artigo são primeiramente apresentadas as principais características do modelo desenvolvido e os resultados da aplicação, com a morfologia das obras e processos construtivos. Em seguida é dado foco nas OAEs com superestrutura em vigas I protendidas com a apresentação das principais manifestações patológicas verificadas. Por fim, o índice de performance das obras com a morfologia selecionada é comparado com as demais obras da malha viária.

Palavras-chave

Modelo de Performance; Ranqueamento de Pontes; Manifestações Patológicas; Concreto Protendido.

Introdução

Um dos alicerces da sociedade moderna é prover o transporte de pessoas e bens de forma rápida, segura, e sobretudo econômica. Nessa questão as pontes e viadutos desempenham um papel primordial, pois são um dos elementos mais importantes na infraestrutura de transportes, sendo indispensáveis em qualquer país (FABIANOWSKI e JAKIEL, 2015).

No Brasil, o modal de transporte predominante é o rodoviário, responsável por 63% das toneladas por quilômetro útil (tku) transportadas no país (ILOS, 2017). Em decorrência da grande participação na matriz de transportes no Brasil, o transporte rodoviário é também o que gera maior riqueza entre os segmentos de transporte. As empresas de transporte rodoviário de cargas e passageiros são responsáveis por 55,5% da receita operacional líquida e por 52,6% do Produto Interno Bruto (PIB) do setor (CNT, 2019).

Tendo em vista a importância do modal, a gestão adequada da infraestrutura rodoviária é indispensável para prover uma boa qualidade do transporte. As Obras de Arte Especiais (OAEs) podem ser consideradas elementos críticos na malha viária, necessitando um tratamento especial. Atualmente a gestão e manutenção

de OAEs é uma forte preocupação de diversos países que dependem majoritariamente do transporte rodoviário de cargas em como lidar com o aumento do volume de transporte, resultado do crescimento econômico e da globalização (ISAILOVIC et al., 2020).

Além de serem elementos críticos na infraestrutura, as pontes rodoviárias representam um grande patrimônio público, no ano de 2011 o Tribunal de Contas da União (TCU) estimou em R\$ 13 bilhões o conjunto de OAEs presentes nas rodovias federais (TCU, 2011). Para evitar a degradação desse patrimônio é necessário acompanhar a condição das obras e prever serviços de manutenção quando alguma situação verificada está fora dos padrões aceitáveis.

A principal forma de verificar o estado de uma OAE é através de inspeções. Atualmente as diretrizes para inspeção de OAEs em rodovias federais são regidas pela Norma DNIT 010/2004 – PRO. A norma prevê a atribuição de uma nota técnica para cada elemento da OAE, sendo que a nota geral da obra é o menor valor atribuído à um elemento. As notas são definidas de forma subjetiva pelo inspetor, podendo variar de 1 a 5, onde 1 representa uma estrutura completamente degradada e 5 uma estrutura sem problemas.

Outra normativa utilizada na avaliação de OAEs é a ABNT NBR 9452:2019, que também consiste na atribuição de notas de 1 a 5 para a obra. Nesse caso, a norma prevê a avaliação nos quesitos estrutural, funcional e durabilidade para os elementos presentes na superestrutura, mesoestrutura, infraestrutura, pista e elementos complementares. A norma apresenta também algumas anomalias com as respectivas notas a serem atribuídas em função do elemento em que estão presentes, todavia, caso alguma anomalia diferente das citadas seja verificada, o inspetor atribui a nota de forma subjetiva.

No ponto de vista da gestão das OAEs, quando são considerados pequenos sistemas viários com poucas obras, a classificação por notas pode até ser interessante. Contudo, para grandes sistemas, com centenas ou milhares de obras, a classificação por notas pode gerar inconvenientes. Com um orçamento limitado, não é possível reparar, por exemplo, todas as obras classificadas com nota 2, assim sendo, as obras mais críticas devem ser elencadas. Nesse caso a tarefa pode ser complicada, já que todas as obras estão no mesmo nível. Além disso, a classificação da obra com a menor nota para um elemento pode não representar o real estado da obra, uma OAE com a junta de dilatação nota 2 é na maioria das vezes menos grave que outra com pilar nota 2.

Em face da dificuldade em relação à classificação da real situação das obras no Brasil, pesquisadores e engenheiros da Universidade Federal do Paraná (UFPR) em parceria com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) desenvolveram uma ferramenta de gestão de pontes baseada num modelo determinístico, onde as inspeções são feitas através de uma metodologia objetiva. A aplicação da metodologia desenvolvida permite gerar uma lista com pontes prioritárias a partir de um índice numérico para cada obra e não por patamares, como atualmente é feito, possibilitando otimizar as ações relacionadas com a manutenção de OAEs. Para validação do modelo de inspeção proposto, foram inspecionadas 181 obras localizadas em rodovias federais não concessionadas no Estado do Paraná.

O presente artigo apresenta inicialmente a metodologia de avaliação utilizada na inspeção das OAEs. O modelo proposto considera no cálculo do índice da obra, aspectos estruturais e operacionais. Na questão operacional, é considerada por exemplo, a qualidade dos elementos de segurança (barreiras, defensas, sinalização) e o conforto do usuário (pista, geometria, etc.).

Na sequência as OAEs inspecionadas são separadas por morfologia. É dado enfoque nas obras com morfologia constituída por vigas tipo I em concreto protendido, para as quais é apresentada uma tabela com as principais manifestações patológicas verificadas bem como a frequência em que ocorrem. Por fim as obras são ranqueadas e comparadas com as demais OAEs do sistema viário. Os resultados são apresentados graficamente, mostrando as vantagens na utilização da metodologia proposta para determinar as obras mais deterioradas.

Modelo Absoluto

Elaborado com base em modelos matemáticos utilizados na Áustria e Eslovênia, pode ser encontrado no Bulletin nº 243 – Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures (CEB 1998). O modelo original foi adaptado às condições brasileiras através da modificação das ponderações inicialmente propostas pelo modelo original.

O objetivo do método é obter parâmetros de performance com base numa avaliação numérica obtida através de inspeções. Tal avaliação numérica deve considerar:

- Tipo do dano e seu efeito na segurança e/ou durabilidade do componente estrutural;
- A máxima intensidade de um tipo de dano em parte da estrutura;

- Efeito global na segurança e/ou durabilidade da estrutura provocado pelo dano em determinado elemento;
- Extensão e propagação do tipo de dano observado.

Os valores para avaliação de cada dano são caracterizados por critérios descritivos incluídos em quatro categorias (**K**). A expressão geral da avaliação numérica da ponte é definida pela Equação (1).

$$R = \sum V_D = \sum B_i \cdot K_{1i} \cdot K_{2i} \cdot K_{3i} \cdot K_{4i} \quad (1)$$

Onde:

- **R**: índice numérico absoluto para a obra;
- **V_D**: valor do dano;
- **B_i**: valor associado ao tipo de dano "**i**" sobre a segurança e durabilidade (exemplos na Tabela 1);
- **K_{1i}**: fator do elemento estrutural, função de sua importância no contexto da estrutura como um todo (exemplos na Tabela 2);
- **K_{2i}**: fator indicativo da intensidade do dano "**i**" (Tabela 3);
- **K_{3i}**: fator que considera a propagação do dano "**i**" em elementos do mesmo tipo (Tabela 4);
- **K_{4i}**: fator da urgência da intervenção de acordo com o dano "**i**" (Tabela 5);

O modelo pode ser aplicado para a totalidade da estrutura, para determinados componentes estruturais ou até mesmo para um único elemento. É importante salientar que o modelo considera aspectos estruturais e funcionais.

Tabela 1 – Exemplos para valores de β

Dano	<i>B</i>
Fissura superficial	3,00
Manchas de fogo	1,00
Deslocamento do concreto devido a altas tensões de compressão	4,00
Corrosão da armadura (apenas mancha de corrosão)	2,00
Corrosão da armadura com deslocamento e rompimento da barra	5,00
Concreto segregado	2,00
Recapeamento irregular	2,00
Inexistência de drenos	2,00
Sinalização horizontal deficiente	2,00

Tabela 2 – Exemplos para valores de K_1

Elemento	K_1
Laje de concreto armado	0,40
Viga de concreto protendido	0,60
Pilar em colunas de concreto armado	0,40
Aparelho de apoio de neoprene fretado	0,40
Pavimento asfáltico	0,20
Barreira New Jersey	0,10

Tabela 3 – Valores de K_2

Tipo	Grau	Crítério	K_2
0	Insignificante	Dano Irrelevante, em menos de 3% da área total do elemento	0,00
I	Pequeno	Dano pequeno, entre 3% e 10% da área total do elemento	0,50
II	Médio	Dano médio, confinado em uma área entre 10% e 25% da área total do elemento	1,00
III	Grande	Dano grande, de 25% a 75% da área total do elemento, ou em muitos lugares de um elemento estrutural	1,50
IV	Imenso	Dano muito grande, presente em mais de 75% da área do elemento	2,00

Tabela 4 - Valores de K_3

Crítério	K_3
Dano aparece em menos de 10% dos elementos do mesmo tipo	0,5
Dano aparece entre 10% e 25% dos elementos do mesmo tipo	1,0
Dano aparece entre 25% e 75% dos elementos do mesmo tipo	1,5
Dano aparece em mais de 75% dos elementos de mesmo tipo	2,0

Tabela 5 - Valores de K_4

Classificação	Crítério	K_4
Não urgente	Intervenção não é urgente, pois o dano não interfere na utilização e capacidade da OAE, também não altera a sua durabilidade	1,00
Dano a reparar	Dano deve ser reparado em período não maior que 5 anos, para garantir a servicibilidade e não comprometer a durabilidade da OAE	2,50
Reparo imediato	Reparo imediato, pois o dano já está comprometendo a utilização da OAE, com risco às pessoas	4,00
Limitação de carga	Limitação de carga, interrupção de tráfego e escoramento imediato deve ser feito, além do reparo	5,00

Modelo Relativo

No decorrer da aplicação do modelo absoluto, observou-se uma dificuldade adicional quando é feita a comparação entre cada OAE, pois a relação da performance com a morfologia da Obra de Arte Especial representa uma situação que poderia mascarar a verdadeira condição comparativa entre todas as OAEs do sistema viário.

A morfologia da OAE possui uma relação direta com a relevância do membro estudado. Por exemplo, a importância de uma viga numa ponte com seis vigas é menor do que em uma ponte com duas vigas. O modelo relativo foi desenvolvido com o objetivo de eliminar essa incompatibilidade.

O modelo relativo não considera apenas uma simples soma de valores, mas uma razão entre a soma efetiva dos valores de danos (V_D) e um índice de referência ($V_{D,Ref}$). O valor de referência é a soma dos valores de danos obtidos considerando todos os possíveis danos que poderiam ocorrer numa estrutura virtual, com a mesma morfologia da OAE estudada. No cálculo do valor dos danos de referência, são utilizados os fatores K_2 e K_3 máximos e o fator K_4 unitário.

Dessa forma o comparativo é feito entre a OAE real e o pior caso de OAE com a mesma morfologia, ou seja, com todos os defeitos que podem ocorrer na morfologia da ponte real.

A forma geral do índice de referência é expressa pela Equação 2.

$$I_r = \frac{\sum V_D}{\sum V_{D,Ref}} \quad (2)$$

Obras de Arte Especiais no Estado do Paraná

Foram inspecionadas 181 OAEs localizadas em rodovias federais não concessionadas no Estado do Paraná, a localização das obras é apresentada na Figura 1. As inspeções foram realizadas por equipes da Universidade Federal do Paraná e posteriormente os dados foram inseridos numa plataforma de armazenamento.

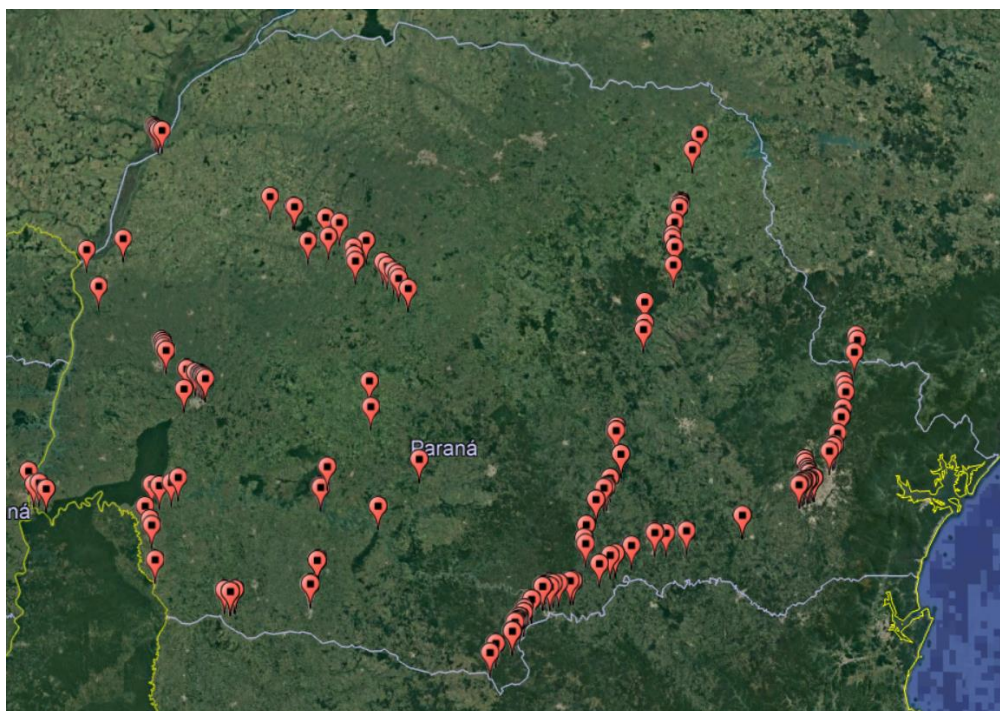


Figura 1 – Localização das obras inspecionadas no Estado do Paraná

A plataforma desenvolvida permite a aplicação de filtros para facilitar a análise e gestão das obras, dessa forma é possível determinar quais as anomalias mais comumente observadas, morfologia, localização por região, número de vãos, sistema construtivo, etc. A Tabela 6 apresenta a morfologia das obras inspecionadas e a Tabela 7 o número de ocorrências das manifestações patológicas mais observadas. As Figuras 2 e 3 apresentam graficamente os dados para morfologia e sistema construtivo, respectivamente. A Figura 4 apresenta o índice relativo para todas as obras inspecionadas, no gráfico eixo das abcissas refere-se à cada OAE, enquanto que o das ordenadas mostra o índice relativo. Como o cálculo do índice é baseado numa soma de danos multiplicados por fatores de intensidade (Equação 1), quanto maior o índice da obra mais manifestações patológicas a mesma possui e consequentemente pior é o estado de conservação

Tabela 6 – Morfologia das OAEs no Estado do Paraná

Morfologia	Quantidade
Viga de concreto armado	79
Viga de concreto protendido	44
Viga caixão de concreto armado	18
Viga caixão de concreto protendido	16
Laje de concreto armado	15
Mista	3
Laje de concreto protendido	2
Arco inferior de concreto armado	4
Total	181

TABELA 7 – Número de ocorrências das manifestações patológicas

Manifestação patológica	nº de ocorrências
Manchas de fogo	42
Concreto disgregado com armadura exposta e oxidada	20
Deficiência nas pingadeiras e buzínates	17
Fissura profunda aberta ($W > 0,3\text{mm}$)	12
Fissura mapeada	8
Fissura em linha horizontal	8
Restrição de movimentação em aparelho de apoio	8
Buraco no pavimento	5
Corrosão em elementos metálicos	5
Impossibilidade de acesso ao passeio	2

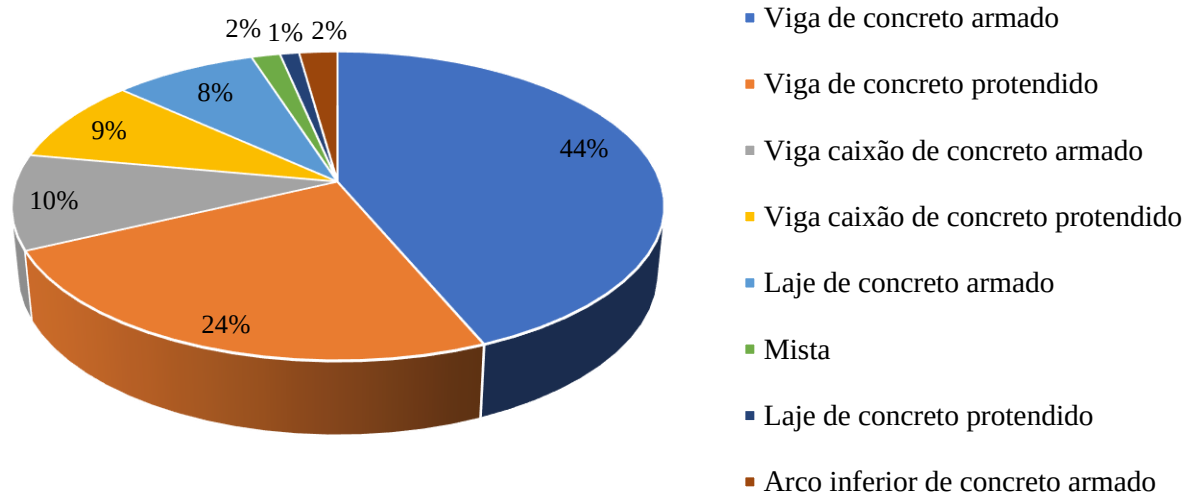


Figura 2 – Morfologia das OAEs no Estado do Paraná

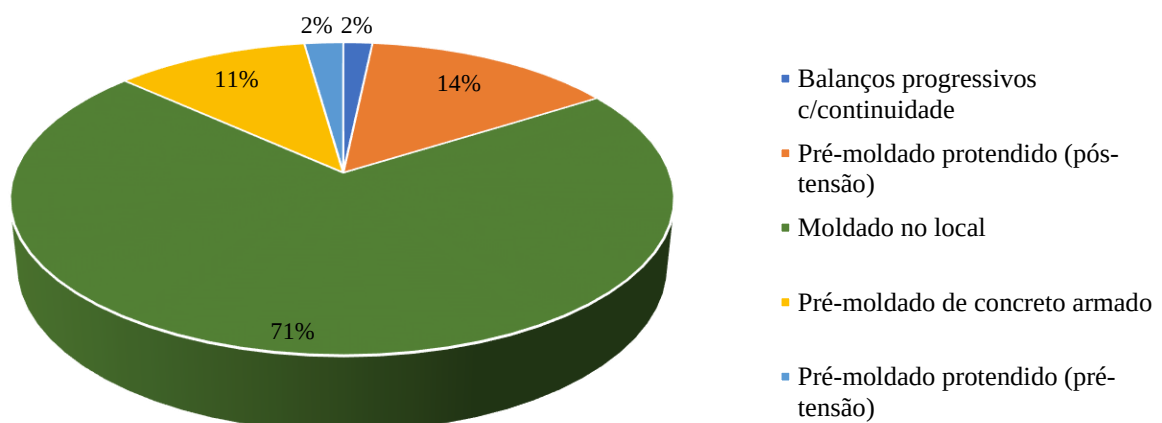


Figura 3 – Sistema construtivo das OAEs no Estado do Paraná

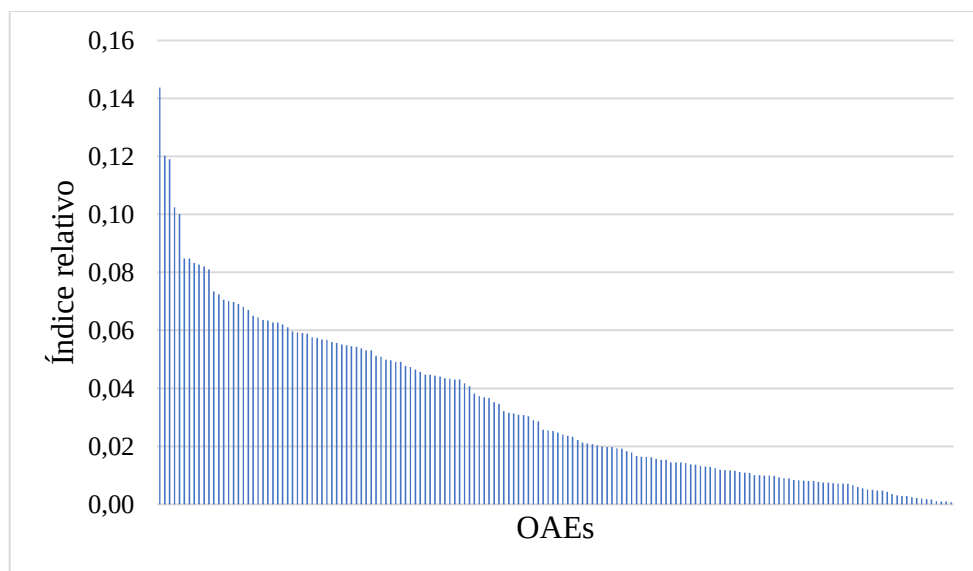


Figura 4 - Índice relativo das OAEs inspecionadas no Estado do Paraná

Aplicação do modelo em OAEs com morfologia em vigas de concreto protendido

Uma das grandes vantagens do modelo proposto é que o mesmo fornece um índice numérico para as obras inspecionadas, permitindo o comparativo direto entre diferentes obras. Nesse tópico são mostrados os resultados da aplicação da metodologia para OAEs com morfologia em vigas tipo I em concreto protendido, considera-se tanto as obras pré-moldadas como moldadas no local. Como pode ser observado na Figura 2, 24% das obras inspecionadas no Estado do Paraná se enquadram nessa categoria.

A Figura 5 mostra a localização das OAEs no estado e a Figura 6 o índice relativo classificado do maior para o menor.

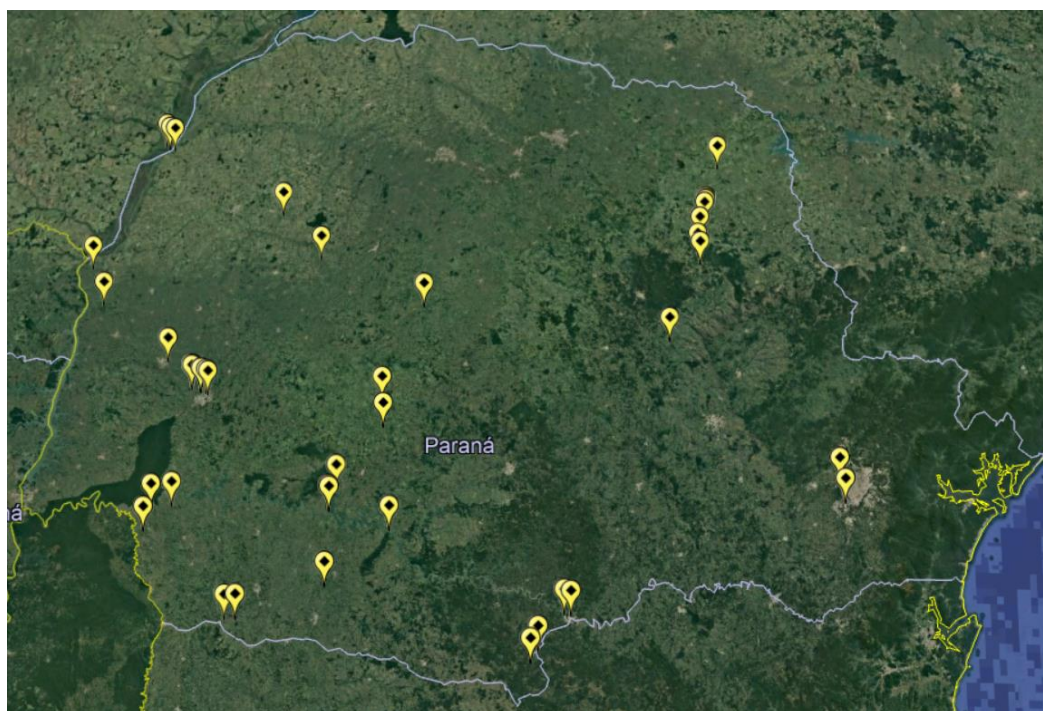


Figura 5 – Localização das OAEs com morfologia em vigas de concreto protendido

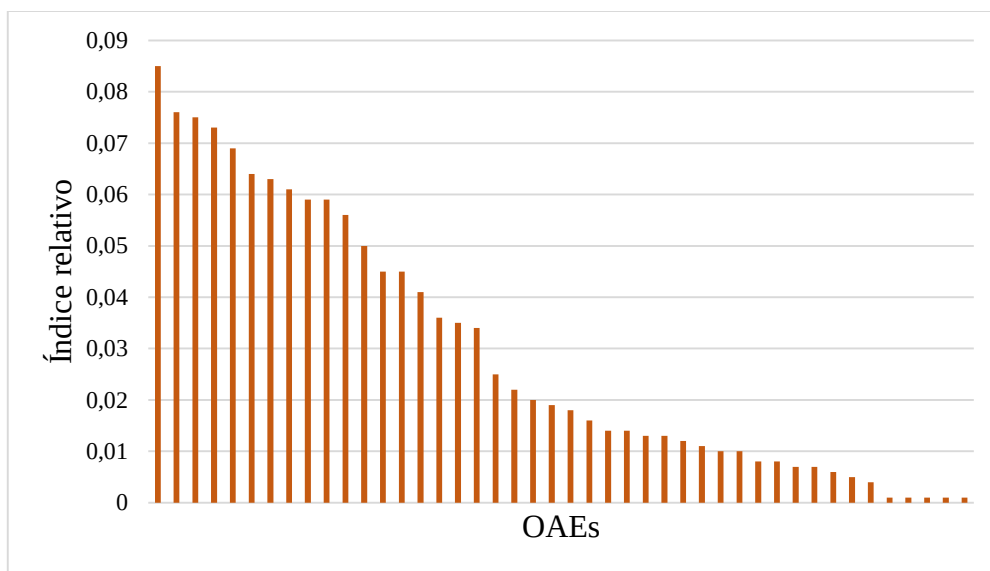


Figura 6 – Índice relativo das OAEs

Para estudar as manifestações patológicas que mais acometem as estruturas foram levantadas as anomalias que ocorrem com maior frequência nas OAEs com vigas tipo I protendidas. A Tabela 7 apresenta as manifestações patológicas levantadas durante as inspeções e o número de vezes que ocorreram. Salienta-se que não é levado em conta o elemento no qual a anomalia está presente, não é feita distinção, por exemplo, se a mancha de fogo está localizada num pilar ou em uma cortina.

Resultados e discussões

A partir da Tabela 6 e da Figura 2 pode-se observar que que grande parte das pontes localizadas em rodovias federais no Estado do Paraná são em concreto armado (44%) seguido pelas obras com superestrutura principal em vigas tipo I em concreto protendido (24%). Nos anos de 1960 e 1970 o Brasil presenciou uma grande expansão da sua malha viária (CASTRO, 2008). No Estado do Paraná essa tendência não foi diferente, já que uma grande quantidade de OAEs construídas nessa época, majoritariamente obras em duas vigas de concreto armado moldadas no local, com um vão principal e balanços nas extremidades.

A inserção dos dados das inspeções numa ferramenta computacional é interessante pois possibilita a aplicação de filtros, facilitando o estudo das obras. A Figura 5 mostra o índice numérico para cada uma das 44 obras com superestrutura em vigas I protendidas, é interessante notar que o índice numérico é diferente para cada uma delas, permitindo estabelecer qual a pior obra. No caso das obras estudadas, fica claro que numa eventual campanha de manutenção, aquela com maior índice numérico possui prioridade na recuperação. Na classificação por patamares, caso várias obras estivessem em um mesmo nível, o processo para determinação de qual é a obra mais crítica seria mais trabalho e provavelmente envolveria critérios subjetivos.

Em relação às manifestações patológicas verificadas nas OAEs com morfologia em vigas I protendidas, a mais frequente delas foi mancha de fogo, seguido por concreto disgregado com armadura exposta e oxidada e deficiência nas pingadeiras e buzínos. As manchas de fogo são geralmente ocasionadas por moradores de rua que utilizam a OAE como abrigo, já a corrosão das armaduras pode ter diversos fatores, entre eles, carbonatação, presença de íons cloreto, etc. É importante salientar que não foi verificado a exposição e corrosão de cabos de protensão nas obras analisadas, uma vez que na metodologia desenvolvida essa anomalia possui uma classificação própria, não sendo tratada genericamente como “corrosão da armadura”.

Observando-se as Figuras 4 e 6 pode-se dizer que, no geral, as OAEs com morfologia em vigas I protendidas estão em bom estado, quando comparadas com as obras em outras morfologias. Entre as 44 obras analisadas apenas uma delas apresenta índice relativo acima de 0,08, todavia ainda está relativamente distante das obras mais críticas do sistema viário, as quais possuem índices acima de 0,1.

Conclusão

As normas atualmente vigentes no Brasil relativas à inspeção de OAEs avaliam as obras através de notas que variam de 1 a 5. Essa metodologia pode ocasionar dificuldades em gerir sistemas com um número grande de obras, uma vez que na maioria dos casos não existem recursos suficientes para recuperar todas as obras

classificadas com determinada nota. Além disso, em muitos casos a avaliação é subjetiva e pode variar dependendo do inspetor.

Com o intuito de contornar essa situação desenvolveu-se uma metodologia de inspeção e um modelo de avaliação de OAEs que considera uma soma ponderada das anomalias com base no tamanho e no local de ocorrência, reduzindo a subjetividade da avaliação.

A aplicação da metodologia desenvolvida apresentou bons resultados, possibilitando a obtenção da classificação da obra através de um índice numérico e não por patamares. Todos os dados coletados durante as inspeções foram inseridos numa ferramenta computacional, permitindo uma análise de dados mais célere.

Para o presente artigo inseriu-se um filtro na ferramenta com o intuito de analisar as obras com morfologia em vigas tipo I protendidas, que correspondem a 24% das obras inspecionadas. Verificou-se que as manifestações patológicas que mais ocorrem nas obras com essa morfologia são as manchas de fogo, seguido por concreto disgregado com armadura exposta e oxidada e deficiência nas pingadeiras e buzínates.

Comparando-se os índices numéricos das pontes com morfologia em vigas I protendidas com todas as outras obras, observa-se que as OAEs com a morfologia estudada estão, no geral, em bom estado. Exceto pela obra com maior índice relativo, as demais não seriam consideradas obras prioritárias numa eventual campanha de manutenção.

Referências

- FABIANOWSKI, D. e JAKIEL, P., An expert fuzzy system for management of railroad bridges in use. 1st ed. Automation in Construction, Elsevier BV., 2019.
- ILOS – INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN. Custos Logísticos no Brasil. São Paulo., 2017. Disponível em:< https://www.ilos.com.br/DOWNLOADS/PANORAMAS/Nova_Brochura%20_CustosLog2017.pdf>
- CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. O transporte move o Brasil: resumo das propostas da CNT ao país. CNT, Brasília., 2019.
- ISAILOVIC, D., STOJANOVIC, V., TRAPP, M., RICHTER, R., HAJDIN, R., DOLLNER, J. Bridge damage: Detection, IFC-based semantic enrichment and visualization. 1st ed. Automation in Construction, Elsevier BV., 2020.
- TCU – TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. Relatório de Auditoria Operacional – Manutenção de Obras de Arte Especiais. TC nº 003.134/2011-3, Brasília, 2011.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 010/2004 – PRO: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido. IPR, 2004.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452:2019 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 2019.
- COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON – Bulletin No. 243 – Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures. CEB, 1998.
- CASTRO, P. F. Brazilian Bridge Management System: comments on axle-load vehicle. Comportarea in Situ a Constructilor. Bucharesti, 2008.