

## Utilização do método TOPSIS para escolha na gestão de manutenção de Pontes

Gabriel Valiente Zelada<sup>1</sup>, Ricardo de Mello Scaliante<sup>2</sup>, Sidiclei Formagini<sup>3</sup>, Andrés Batista Cheung<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)/ Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Geografia (FAENG) / zeladagabriel07@gmail.com, sidiclei.formagini@ufms.br, andres.cheung@ufms.br

<sup>2</sup> Superintendência Regional - MS, / DNIT / ricardo.scaliante@dnit.gov.br

### Resumo

Este artigo apresenta uma ferramenta multicritério chamada TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) para implementação em sistemas de gestão e manutenção de pontes. O objetivo deste método é estabelecer o ranking de prioridade na manutenção de pontes de concreto, utilizando-se para isso, critérios para a formulação de uma matriz de decisão, minimizando a subjetividade na escolha. Para isso foram definidos 10 critérios técnicos, segundo especialistas da área, para aplicação na base de dados disponível do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) da Superintendência Regional - MS. Os dados foram coletados de 88 pontes, pertencente a malha rodoviária federal do estado de Mato Grosso do Sul - BR 262, vistoriadas pelo procedimento normativo DNIT 010/2004-PRO. Por meio de uma calibração e ajuste prévio, em uma amostra das pontes, otimizou-se a matriz de decisão para a utilização nas 88 pontes estudadas. Os resultados mostraram aderência ao ranking proposto pelos especialistas para a amostra estudada e apresentou a ordem de prioridade para o conjunto estudado.

### Palavras-chave

Ranking; prioridade; manutenção; pontes de concreto; TOPSIS.

## 1. INTRODUÇÃO

As pontes são estruturas utilizadas para transposição de obstáculos, mantendo assim, a continuidade de uma via de qualquer natureza. Dessa forma desempenham papéis importantes na infraestrutura rodoviária e ferroviária nacionais, sendo que sua manutenção, apesar de vital, é feita poucas vezes de forma preventiva, aumentando assim os custos financeiros, como demonstra a lei de Sitter, apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Lei de Sitter (Fonte: SITTER 1984 apud HELENE 2003)

Segundo Vitório (2006) a conservação de uma estrutura, inclusive das pontes e viadutos, é definida pelo conjunto de ações necessárias para que ela se mantenha com as características resistentes, funcionais e estéticas para as quais foi projetada e construída.



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

O primeiro passo para essas ações é caracterizado por um planejamento prévio, que é composto de procedimentos técnicos e fornece todos os dados da condição da obra no momento em que foram realizados. (VITÓRIO, 2006).

Segundo Deshmukt (2006), a deterioração é uma degradação a longo prazo, que ocasiona uma diminuição progressiva do desempenho de uma ponte. Sendo assim, segundo Sobreiro (2011), prever o futuro estado de condição das pontes, é um fator importante na determinação de qual tipo de ação de manutenção uma rede viária deve receber.

Devido ao nível de incerteza elevado que influencia o grau de condição futura (DESHMUKT, 2006), são necessários modelos probabilísticos para a previsão das taxas de deterioração futura das pontes. *Esses modelos são de natureza estocástica e recorrem, na maioria dos casos, a processos markovianos em cadeia para estimar os seus resultados.* (SOBREIRO, 2011)

Apesar de ser um fator importante, nem sempre é possível desenvolver esses modelos probabilísticos em larga escala, dificultando assim, a criação de um modelo eficiente para avaliar diversas pontes, para isso Chassiakos et al. (2005) propõe um modelo que utiliza apenas as condições atuais de cada obra de arte especial por meio de critérios pré-definidos, com pesos para cada critério, fazendo uma comparação com a opinião de especialistas para ajustar os pesos dos critérios.

Esses modelos são importantes para sistematizar e dar mais objetividade na escolha de prioridade de manutenção de pontes rodoviárias, e por meio de um banco de dados realizar um sistema de gestão eficiente.

Com posse desses dados, é possível realizar um cadastro de todas as obras existentes na jurisdição do órgão responsável pela sua conservação, e aplicar a análise multicritério, que consiste na otimização de vários critérios em conflito, fazendo parte de tais análises o método *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), que utiliza taxa de similaridade para criar uma ordem de preferência das alternativas apresentadas.

## 2. OBJETIVO

Aplicação de análise multicritério, para um conjunto de ponte de uma rodovia, utilizando o método TOPSIS para classificação de prioridade no planejamento e gestão de pontes de concreto.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

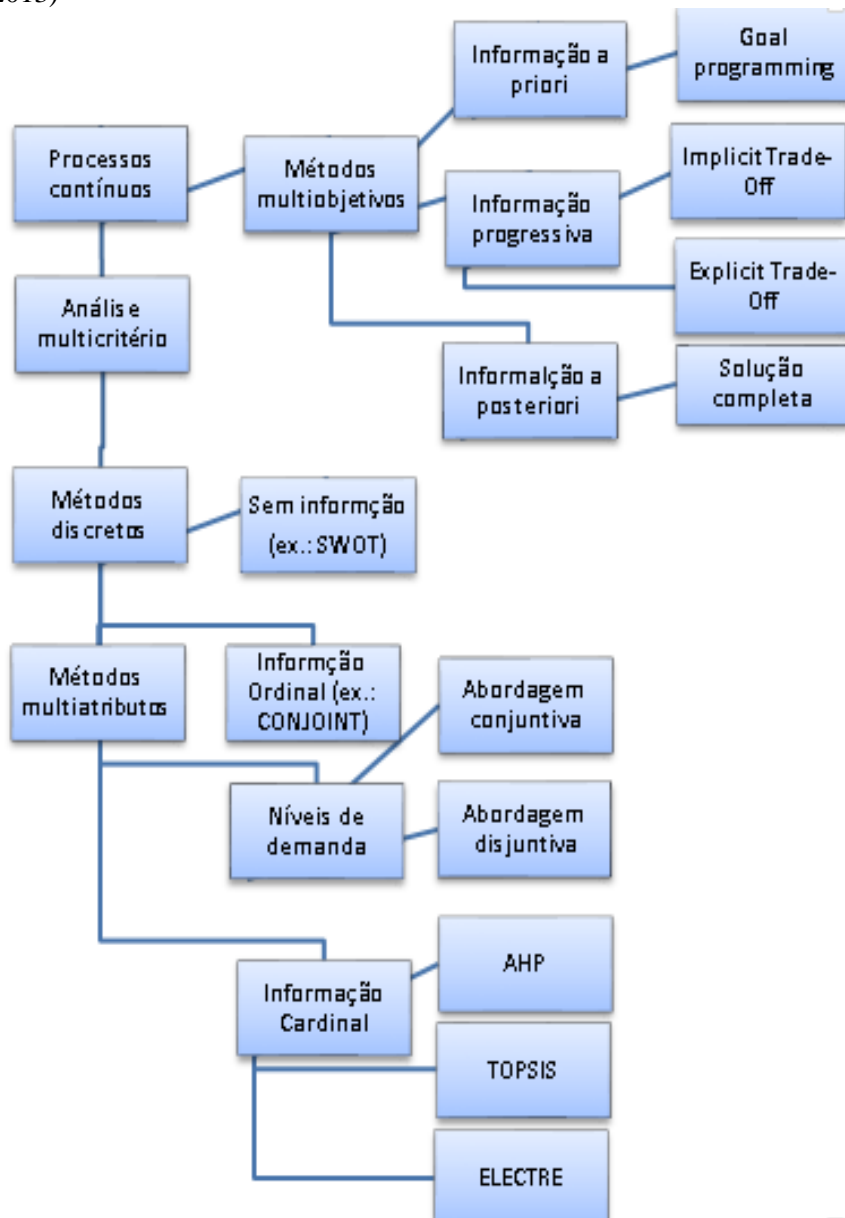
*Com origem na Pesquisa Operacional, são desenvolvidos métodos cujo objetivo consiste em apoiar os decisores na avaliação e escolha em ambientes multicritérios, ou seja, ambientes que envolvam problemas complexos cuja solução passa pela análise de diversos critérios e variáveis distintas.* (COSTA e DUARTE, 2013)

*A análise da decisão multicritério é uma abordagem que pode ser considerada como uma extensão da programação linear, em que se consideram a otimização (maximização ou minimização) de vários objetivos em conflito.* (ROMERO, 1993)

Essas análises tem como principal fator que geralmente não existe uma única solução que maximize conjuntamente todos os critérios analisados. Existem um conjunto de soluções ótimas, com algumas alternativas satisfazendo alguns critérios, porém com péssimo desempenho em outros. (CORDEIRO, 2010).

A escolha de um método para a resolução do problema apresentado, não é uma tarefa trivial devido ao vasto universo de métodos disponíveis, como demonstrado na Figura 2, como *ELimination Et Choix Traduisant la REalité* (ELECTRE), *Analytic Hierarchy Process* (AHP), TOPSIS que buscam por meio de mecanismos diferentes (*outranking*, hierarquias, taxa de similitude) apresentar a “melhor alternativa”. A escolha do método a ser apresentado foi definido pelos seguintes fatores: necessidade da ordenação das alternativas (pontes), as variáveis serem melhor caracterizadas de forma discreta, facilidade e agilidade da análise desejada.

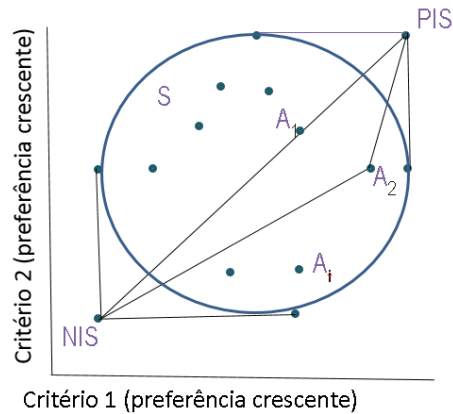
O método TOPSIS, desenvolvido por Hwang e Yoon (1981) busca avaliar a distância em relação a uma solução ideal e a uma inversa, conhecida como anti-ideal, por meio de uma “taxa de similitude”. As alternativas que estão mais próximas da solução ideal, em inglês *positive ideal solution* (PIS), e mais distantes da solução anti-ideal, em inglês *negative ideal solution* (NIS), são identificadas, mediante uma medida de proximidade, como exemplificado na Figura 3. (ARAMESH et al, 2013)



**Figura 2 – Métodos multicritério.**



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



**Figura 3 – Método TOPSIS**

#### 4. MÉTODO TOPSIS

A aplicação do método TOPSIS como demonstrado por Costa e Duarte (2013) pode ser descrito como uma série de sucessivas etapas, podendo ser utilizado como ferramenta básica para seu desenvolvimento uma planilha eletrônica:

**1º etapa – Construção da matriz de decisão:** Monta-se de forma inicial uma matriz de decisão  $m \times n$ , onde “ $m$ ” são as alternativas (neste caso as pontes) e “ $n$ ” os critérios pré-definidos.

**2º etapa – Transformação das variáveis qualitativas em quantitativas:** Quando da existência de critérios com entrada de dados qualitativos deve ser feita a transformação destes em quantitativos por meio da metodologia escolhida pelo decisor.

**3º etapa – Cálculo da matriz normalizada:** Segundo Miranda (2008), é possível normalizar a matriz de decisão de várias formas, sendo que neste trabalho utiliza-se a normalização por vetor, descrita na equação:

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_{ij}^2}}, \text{ onde } j = 1, 2, \dots, k \text{ e } i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

Onde:

$m$  é o número de fonte de dados;

$d_{ij}$  representa o valor do  $j$ -ésimo critério para a  $i$ -ésima fonte de dados.

**4º etapa – Aplicação dos respectivos pesos à matriz:** Multiplica-se a matriz normalizada pelo vetor dos pesos definido pelo decisor ou decisores, de acordo com a equação:

$$V_{ij} = r_{ij} \cdot w_{ij} \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,k \quad (2)$$

Onde:

$w_{ij}$  é o peso definido para cada atributo ou critério



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

**5º etapa – Identificação da PIS e da NIS:** Determina-se a solução ideal PIS, e a solução anti-ideal NIS por meio da matriz normalizada de acordo com os respectivos pesos. Utilizam-se as seguintes equações:

$$A^+ = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') | i=1,2,\dots,m\}$$
$$= \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_k^+\} \quad (3)$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') | i=1,2,\dots,m\}$$
$$= \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_k^-\} \quad (4)$$

Onde:

J é o conjunto de critérios de benefícios

J' é o conjunto de critérios de custos

**6º etapa – Cálculo das distâncias entre a situação ideal positiva e cada alternativa (d+) e situação ideal negativa e cada alternativa (d-):** cálculo das distâncias entre cada alternativa e as soluções ideal e anti-ideal, normalmente se utiliza a norma euclidiana, da forma que se segue:

$$d_i^+ = \sqrt{\{\sum_j (v_{ij} - v_j^+)^2\}} \quad ; i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$d_i^- = \sqrt{\{\sum_j (v_{ij} - v_j^-)^2\}} \quad ; i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

**7º etapa – Cálculo da similaridade para a posição ideal positiva:** finalmente, chega-se ao resultado da aproximação à situação ideal ( $A_i$ ) e a definição da hierarquização das alternativas, com o emprego da equação:

$$cl_i^+ = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

As alternativas que mais se aproximarem da solução ideal e mais distantes estiverem da solução anti-ideal estarão mais próximas de  $A_i = 1$ , porém as soluções que mais se aproximarem da solução anti-ideal e mais distantes da ideal se aproximaram de  $A_i = 0$ . Esta métrica, se deve a aproximação relativa  $A_i$ , que é função de ambas distâncias, o que permite como resultado desta análise um ranking de alternativas a serem priorizadas.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A base de dados a ser analisada é proveniente do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT), recebendo dados dos relatórios instruídos pelo Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias - IPR - 709 do mesmo órgão. Criando assim uma base de dados, em formato de tabela com alternativas e critérios, extraídos dos dados provenientes do DNIT. Foram escolhidas 88 pontes na BR-262 no estado de Mato Grosso do Sul.

### 4.1 Escolha dos critérios

Os critérios escolhidos, demonstrados na Tabela 1, foram baseados na solução proposta por Chassiakos et al. (2005), sendo adaptados aos dados existentes. Devido a análise proposta por este estudo analisar a alternativa, sendo a ponte e não o defeito, como proposto por Chassiakos et al. (2005), foi necessária uma remodelação dos pesos dos critérios.

Também foi feita uma comparação entre ambos métodos, utilizando os pesos dos critérios e o exemplo proposto definidos por Chassiakos et al. (2005).

Para tal, foi desenvolvido um formulário para especialistas na área avaliarem e darem notas aos critérios e também para resolverem um exemplo prático e ranquearem 10 pontes, dessa forma possibilitando desenvolver os coeficientes utilizados na 2ª etapa – Transformação das variáveis qualitativas em quantitativas, da metodologia TOPSIS, por meio de simulações para que a saída do programa se aproximasse aos resultados dos especialistas.

**Tabela 1 – Critérios escolhidos**

	<b>Critério</b>	<b>Entrada de dados</b>
<b>Manifestações Patológicas</b>	Fissuras ou Imperfeições Geométricas ou corrosão no pilar	Alto Médio Baixo
	Erosão no aterro	Alto Médio Baixo
	Fissura no tabuleiro (corrosão)	Alto Médio Baixo
	Danos nas juntas	Alto Médio Baixo
	Deslocamento ou deterioração do aparelho de apoio	Alto Médio Baixo
	Dano no pavimento	Alto Médio Baixo
	Dano no guarda-corpo	Alto Médio Baixo
	Deterioração da impermeabilização	Alto Médio Baixo
	<b>Parâmetros geral</b>	Intensidade do tráfego
Vão Livre		Metros

Para cada defeito foram diferenciadas as intensidades em alto, médio ou baixo, onde o ajuste da quantificação dessas variáveis se basearam nessas intensidades, sendo também possível a ponte não apresentar tal defeito, sendo caracterizado como nenhum.

Para intensidade do tráfego foram utilizados dados do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) do DNIT, sendo que na BR-262 existem três pontos de contagem, como demonstrado na Figura 4, utilizando para cada ponte o ponto mais próximo.

Para o vão livre foi considerado o maior vão livre da ponte em metros de acordo com os dados disponibilizados.

Selezione o filtro desejado

MS 262

Selezione o(s) Equipamento(s)

Busca

Todos

BR-262/MS km 15       BR-262/MS km 561

BR-262/MS km 386

**Figura 4 – Pontos de contagem contínua. Fonte: DNIT**

As Figuras 5 a 12, apresentam um exemplo típico de manifestação patológica encontrada nas pontes vistoriadas.

**Fissura ou Imperfeições Geométricas ou corrosão no pilar:** Fissuras, imperfeições geométricas (pilares fora do prumo), armaduras expostas, deslocamento do concreto e armaduras corroídas, como na Figura 5.



**Figura 5 – Pilar fissurado com imperfeição geométrica.**

**Erosão no aterro:** Erosão do aterro, danos nos sistemas de contenção como cortinas sendo estas fissuras, exposição das armaduras, deslocamento do concreto como na Figura 6.



**Figura 6 – Processo erosivo no aterro.**

**Fissura no tabuleiro com corrosão da armadura:** Fissuras, armaduras expostas, deslocamento do concreto e armaduras corroídas tanto nas lajes quanto vigas, longarinas e transversinas, como na Figura 7.



**Figura 7- Fissuras com deslocamento do concreto em tabuleiro de ponte.**

Juntas danificadas, como na Figura 8.



**Figura 8 - Fissuras nas juntas.**

**Deslocamento excessivo de aparelho de apoio:** Esmagamentos e distorções dos aparelhos de apoio como na Figura 9.



**Figura 9 - Aparelho de apoio danificado.**



**Dano no pavimento:** Qualquer patologia associada ao pavimento, como fissuras, panelas, trilhas de roda, couro de jacaré, como na Figura 10.



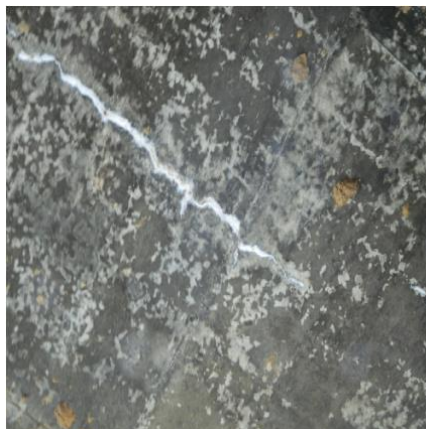
**Figura 10 – Pavimento danificado**

**Guarda-corpo danificado:** Partes faltantes do guarda-corpo, partes danificadas com armaduras expostas, como na Figura 11.



**Figura 11 – Guarda-corpo danificado.**

**Deterioração da impermeabilização:** Manchas de carbonatação, umidade no tabuleiro e infiltrações, como na Figura 12.



**Figura 12 – infiltração e manchas de lixiviação no tabuleiro.**

Em seguida essa base de dados é analisada pelo programa desenvolvido, utilizando uma abordagem na qual é aplicado o método TOPSIS, e gerando o ranking de prioridade de manutenção das pontes analisadas.



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre o método proposto (TOPSIS) e o método de Chassiakos et al. (2005) pode ser visualizado na Tabela 2.

**Tabela 2 – Comparação entre métodos para o exemplo de Chassiakos et al. (2005).**

	<b>TOPSIS</b>	<b>Chassiakos et al. (2005)</b>
<b>1º</b>	Ponte 6	Ponte 6
<b>2º</b>	Ponte 9	Ponte 9
<b>3º</b>	Ponte 4	Ponte 4
<b>4º</b>	Ponte 5	Ponte 5
<b>5º</b>	Ponte 1	Ponte 1
<b>6º</b>	Ponte 3	Ponte 2
<b>7º</b>	Ponte 8	Ponte 7
<b>8º</b>	Ponte 10	Ponte 10
<b>9º</b>	Ponte 7	Ponte 3
<b>10º</b>	Ponte 2	Ponte 8

Os resultados dos pesos dos critérios foram obtidos por meio da média aritmética do resultado dos especialistas, sendo demonstrado na Tabela 3.

Os resultados da conversão das variáveis qualitativas em quantitativas foram obtidos por meio de simulações, aproximando o resultado do programa com a média dos resultados dos especialistas, sendo para o nível de defeito Alto obteve-se um valor de 1,00, Médio de 0,55 e Baixo de 0,35, com esses valores gerou-se um ranking que foi comparado com o dos especialistas na Tabela 4, obtendo um resultado favorável, com o ranking se assemelhando muito ao esperado (especialistas).

**Tabela 4 – Pesos e critérios**

Fissuras ou Imperfeições Geométricas ou corrosão no pilar	9,0
Erosão no aterro	9,0
Fissura no tabuleiro (corrosão)	7,5
Danos nas juntas	6,5
Dano ou deslocamento do aparelho de apoio	5,0
Dano no pavimento	3,0
Dano no guarda-corpo	2,0
Deterioração da impermeabilização	3,0
Intensidade do tráfego	9,0
Vão livre	6,5



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Para a validação da estratégia e calibração do programa estudado, foi utilizada uma amostra teste de 10 pontes para a verificação dos critérios da Tabela 3. Observa-se a partir dos resultados que a metodologia proposta apresenta similaridade da escolha de prioridade dos especialistas e a resposta do Método TOPSIS.

**Tabela 4 – Ranking dos especialistas e do método TOPSIS para a amostra teste de 10 pontes**

	<b>Especialistas</b>	<b>TOPSIS</b>
<b>Ponte 1</b>	3º	3º
<b>Ponte 2</b>	1º	1º
<b>Ponte 3</b>	6º	7º
<b>Ponte 4</b>	4º	4º
<b>Ponte 5</b>	2º	2º
<b>Ponte 6</b>	8º	6º
<b>Ponte 7</b>	10º	10º
<b>Ponte 8</b>	9º	9º
<b>Ponte 9</b>	5º	5º
<b>Ponte 10</b>	7º	8º

Com o programa ajustado, foi aplicado na base de dados desenvolvida, obtendo o resultado do ranking, sendo os 10 primeiros resultados demonstrados na Tabela 5, vale ressaltar que existem pequenas variações entre os próprios especialistas e que assim como o DNIT classifica as pontes dando notas de 1 a 5, é possível criar categorias para que as pontes que estejam classificadas nas categorias mais baixas tenham no geral, maior prioridade em manutenção, e isso pode ser feito de maneira objetiva pois o programa atribui um valor de 0 a 1 a ponte, sendo 0 a ponte que coincide com a NIS e consequentemente está mais distante da PIS, e a ponte com valor 1, é a que coincide com a PIS.

**Tabela 5 – Ranking do Método TOPSIS na base dados das 88 pontes**

<b>1º</b>	<b>Ponte 79</b>
<b>2º</b>	Ponte 11
<b>3º</b>	Ponte 15
<b>4º</b>	Ponte 4
<b>5º</b>	Ponte 14
<b>6º</b>	Ponte 66
<b>7º</b>	Ponte 71
<b>8º</b>	Ponte 45
<b>9º</b>	Ponte 65
<b>10º</b>	Ponte 1

## 6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma alternativa à subjetividade na escolha de prioridade de manutenção de pontes, apresentando um programa que analisa de forma objetiva, por meio de critérios pré-definidos, as pontes para assim desenvolver um ranking de prioridade de manutenção.



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Com o objetivo de realizar uma análise mais precisa, poder-se-ia adicionar critérios importantes, como condição da fundação, classe de agressividade ambiental, idade e modelos de deterioração, que não puderam ser mensurados devido aos dados disponíveis, podendo haver uma atualização no Manual de Inspeção do DNIT – IPR – 709, com ensaios expeditos, por exemplo para fundação, para que assim possa-se adicionar esses critérios e dessa forma realizar uma análise mais completa das alternativas apresentadas.

Por fim, vale ressaltar que apenas o programa desenvolvido não é o suficiente para criar um sistema de gestão eficiente de pontes, mas disponibiliza uma poderosa ferramenta para tal, havendo assim muito a se estudar e pesquisar levando em conta a importância econômica e social que a malha rodoviária tem no Brasil.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos autores abaixo que colaboraram com a disponibilização de dados e conhecimento técnico.

Ao DNIT, em especial o Eng. Civil MSc. Ricardo Scaliante, pelos dados disponibilizados e assistência prestada.

A todos que contribuíram de alguma forma para a minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

## **REFERÊNCIAS**

- ARAMSEH, K., AHMADIFARD, M., MOHAMMADI, I. e SADENEJAD, F. The application of fuzzy multi-criteria decision making technique in identification and priority of existing risks in the manufacturing industries; mine and Industry Bank Customers. *Advances in Environmental Biology*. 2013. Pp. 3034-3040.
- CHASSIAKOS, A.P, VAGIOTAS, P. e THEODORAKOPOULOS, D.D. A knowledge-based system for maintenance planning of highway concrete bridges, *Advances in Engineering Software* 36, 2005.
- COSTA, L. S. E DUARTE, A.M. Uma metodologia para a pré-seleção de ações utilizando o método multicritério TOPSIS, *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2013.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias*. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2004. (IPR, Publicação 709).
- DESHMUKT, S. G. Maintenance management: literature review and directions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 12 Issue: 3, 2006, pp.205-238.