

## Análise de um índice de priorização para manutenção dos pavimentos flexíveis de um campus universitário

### Analysis of a prioritization index for the maintenance of flexible pavements of a university campus

*Priscila Merlo(1), Carlos Alberto Prado da Silva Junior(2), Heliana Barbosa Fontenele(3)*

1 Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR, Brasil.

E-mail: [priscilamerlo3@gmail.com](mailto:priscilamerlo3@gmail.com) | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9378-2405>

2 Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR, Brasil.

E-mail: [cprado@uel.br](mailto:cprado@uel.br) | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0347-3404>

3 Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR, Brasil.

E-mail: [heliana@uel.br](mailto:heliana@uel.br) | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2046-0568>

**Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 9, n. 2, p. 20-35, julho-dezembro, 2022 - ISSN 2358-6508

[Recebido: junho 13, 2020; Aceito: julho 24, 2023]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2022.v9i2.4165>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

## Resumo

Os Sistemas de Gerência de Pavimentos representam um importante papel no auxílio à tomada de decisão quanto às atividades relativas à infraestrutura viária. Assim, a partir do conhecimento das condições dos pavimentos o gestor terá subsídios para decidir quando, onde e como intervir para proporcionar níveis adequados de conforto, segurança e economia aos usuários. Na área urbana é comum o uso da técnica de priorização para a seleção das vias candidatas aos serviços de manutenção. Portanto, pretende-se contribuir à gestão pública de municípios tomando-se como laboratório um campus universitário. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa é analisar a aplicação de um índice de priorização multicritério para manutenção de uma rede de pavimentos flexíveis. Neste trabalho a ordem de prioridade proveniente do índice desenvolvido com base na Metodologia Multicritério Construtivista (MCDA-C) é comparada a de índices tradicionais. Para a análise foram utilizados dados obtidos em levantamentos objetivos e subjetivos nos anos de 2017 e 2018. A partir dos resultados observou-se que o índice multicritérios obteve resultados próximos aos dos índices tradicionais apenas no ano de 2018. De uma forma geral, percebeu-se que o índice proporcionou resultados compatíveis tanto quando utilizadas avaliações objetivas quanto subjetivas. Ainda conclui-se que o índice multicritério pode ser aplicado na priorização das vias de pavimentos flexíveis candidatas às intervenções.

**Palavras-chave:** Avaliação. MCDA-C. Multicritérios. Defeitos.

## Abstract

Pavement Management Systems play an important role in assisting decision making regarding activities related to road infrastructure. Thus, from the knowledge of the conditions of the pavements, the manager will have subsidies to decide when, where and how to intervene to provide adequate levels of comfort, safety and savings to users. In the urban area, it is common to use the prioritization technique to select the candidate roads for maintenance services. Therefore, it is intended to contribute to the public management of municipalities by taking a university campus as a laboratory. Thus, the aim of this research is to analyze the application of a multicriteria prioritization index to the maintenance of the flexible pavement network. In this study the priority order from the index developed based on Multicriteria Decision Analysis Constructivist (MCDA-C) is compared to that of traditional indexes. For the analysis it was used data obtained in objective and subjective surveys in 2017 and 2018. From the results it was noted that the multicriteria index had its results close to the traditional indexes only in 2018. In general, it was noticed that the index provided compatible results using both objective and subjective evaluations. It is concluded that the multicriteria index can be applied in the prioritization of flexible pavements candidates for interventions.

**Keywords:** Evaluation. MCDA-C. Multicriteria. Distresses.

## 1 Introdução

O modo rodoviário é a forma de locomoção predominante nos estados brasileiros, com exceção do estado do Amazonas onde prevalece o sistema hidroviário (IBGE, 2014). Desta forma, há uma crescente necessidade de aprimoramento na construção e manutenção de rodovias. Segundo CNT (2016), a manutenção é imprescindível para garantir o bom funcionamento da via e a vida útil da estrutura, além de garantir a segurança do usuário e a diminuição com custos operacionais (manutenção dos veículos, tempo de viagem, entre outros). Embora tais afirmações sejam relativas à área rural, a situação no perímetro urbano não é diferente.

A manutenção das vias normalmente é feita pelo órgão público e muitas vezes sem um adequado planejamento, resultando num emprego equivocado dos recursos já limitados. Por conta disto, observa-se um crescente desenvolvimento de pesquisas com foco na elaboração e aprimoramento de Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP). O SGP, segundo Haas e Hudson (1978), integra o projeto, execução, manutenção e avaliação de pavimentos, auxiliando assim no acompanhamento do desempenho da via.

A partir do conhecimento das condições das redes viárias o gestor deverá tomar decisões sobre o sistema de pavimentos, ou seja: quando, onde e como intervir para proporcionar níveis adequados de conforto, segurança e economia aos usuários. Os SGP urbanos (SGPU) utilizam a técnica de priorização para a seleção dos projetos de manutenção. De acordo com Yogesh *et al.* (2014) o método de priorização de pavimentos possibilita selecionar as seções onde aplicar a manutenção adequada, devendo-se considerar a classificação e o nível de utilização pela comunidade como fatores de influência nas vias urbanas, visto que tais fatores influenciam a ordem de priorização. A partir das avaliações dos pavimentos, quer sejam elas objetivas ou subjetivas, é possível calcular o índice de prioridade (IP), que indica o grau de importância para execução da manutenção da via.

A programação das prioridades em um SGPU pode ser feita pela obtenção do IP de acordo com vários tipos de modelos, como por exemplo: o elaborado por Tavakoli, Lapin e Figueroa (1992), que relaciona ao índice de condição do pavimento, o fator de tráfego, o fator de classe de via, o tipo de tráfego e o fator de manutenção para obtenção do índice de prioridade; o modelo do DNER que relaciona o índice de custo operacional, o índice de estado de superfície e pesos de ponderação de importância (SERAFINI; GONÇALVES, 2005); o modelo desenvolvido por Bodi & Balbo (1998) que correlaciona o valor de serventia atual, dimensões das amostras, volume diário médio total e custos, e o *Highway Design and Maintenance* (HDM-4), que tem como objetivo antecipar as cargas de tráfego, deterioração do pavimento e obras de manutenção, uma vez que o programa simula a condição do pavimento na sua vida útil considerando custos e estados de conservação (ALVES; SANTAREM, 2015).

O modelo empírico de Tavakoli foi utilizado no trabalho de Fernandes, Oda e Guerini (2018) na malha viária do campus da Ilha do Fundão – RJ. Na pesquisa foi

desenvolvido um software para ser utilizado como um SGP para cidades de pequeno a médio porte. Após o teste da ferramenta no campus universitário, os autores constataram que o programa foi eficaz e passível de servir como um SGP para gestores de pequenas malhas viárias.

Ao longo do mundo estudos têm sido desenvolvidos para gerar modelos de priorização de vias pavimentadas candidatas à manutenção baseados em análises multicritério. Como exemplo podem ser citadas as pesquisas de Lima, Ramos e Fernandes Junior (2009) no Brasil, de Moazami, Behbahani e Muniandy (2011) no Irã, Prakasan *et al.* (2015) na Índia e de Marcelino *et al.* (2019) em Portugal.

Nessa pesquisa foram utilizados três tipos de IP. Um deles foi obtido a partir de um método simplificado relacionado apenas ao Índice de Condição do Pavimento (ICP); outro por intermédio do método desenvolvido por Tavakoli, Lapin e Figueroa (1992); e o terceiro tipo diz respeito a um índice desenvolvido com base na Metodologia de Análise Multicritério Construtivista (MCDA-C, do inglês *Multicriteria Decision Analysis Constructivist*) desenvolvido por Sequinel *et al.* (2018).

O objetivo da pesquisa é analisar a aplicabilidade de um índice de priorização desenvolvido com base na MCDA-C selecionando, para tanto, a rede viária do campus da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Desta forma, espera-se contribuir ao procedimento de priorização com vistas à aplicação em um SGPU, permitindo, dessa maneira, que as seções que precisam de melhorias sejam conhecidas e priorizadas a partir de métodos adequados, não só em municípios como em outros campi universitários.

## 2 Índices de Priorização de Pavimentos

O índice de priorização de pavimentos tem a função de hierarquizar os trechos segundo a sua necessidade de intervenção. Assim, de acordo com Serafini (2005) os pavimentos com maiores índices são aqueles que apresentam maior prioridade de manutenção, portanto a intervenção será direcionada a eles, bem como aos seus custos.

### 2.1 Modelo Simplificado de Priorização

O modelo simplificado relaciona fatores básicos para a priorização de manutenção e reabilitação de pavimentos. Ele correlaciona o índice de priorização (IP) com o índice de condição de pavimento (ICP), sendo esse obtido por avaliações objetivas ou subjetivas. Na Equação 1 está apresentada a forma de obtenção do IP simplificado.

$$IP = \frac{1}{ICP} \quad (1)$$

Observa-se que, quanto menor for o índice de condição do pavimento, maior será o índice de prioridade, ou seja, o pavimento terá preferência na ordem de manutenção.

Considerando uma escala de valores para o ICP de 0 (muito ruim) a 100 (muito bom) tem-se que o intervalo desse IP varia de 0,01 no melhor caso (menor ordem de prioridade), e tende ao infinito no pior caso (prioridade máxima).

## 2.2 Modelo Empírico de Tavakoli

O modelo para o cálculo do IP foi desenvolvido por Tavakoli *et al.* (1992), relacionando-o ao ICP, à da classe da via, ao fator de tráfego, ao tipo de tráfego e ao nível de manutenção. O IP é obtido pela Equação 2.

$$IP = \frac{1}{ICP \cdot TF \cdot FC \cdot TR \cdot MF} \quad (2)$$

Em que: o ICP é o índice de condição do pavimento; o TF é o fator de tráfego; o FC é o fator de classe; o TR é o tipo de tráfego e o MF é o fator de manutenção da via. Esses dados são obtidos de acordo com as informações apresentadas no Quadro 1. Considerando a escala de valores para o ICP entre 0 e 100, o valor de IP obtido pelo modelo se encontra em um intervalo de 0,001 para o melhor caso (menor ordem de prioridade), tendendo ao infinito para o pior caso (prioridade máxima).

**Quadro 1** - Fatores do índice de prioridade de Tavakoli

Fator	Dados	Pontuação do Fator
TF	Volume Diário Médio (VDM)	
	VDM de 0 a 99	TF = 10
	VDM de 100 a 499	TF = 20
	VDM de 500 a 999	TF = 30
	VDM de 1000 a 1999	TF = 40
	VDM de 2000 a 4999	TF = 50
	VDM maior ou igual a 5000	TF = 100
FC	Hierarquia da via	
	Arterial	FC = 1,2
	Coletora	FC = 1,1
	Local	FC = 1,0
TR	Tipo de tráfego	
	Trânsito	TR = 1,0
	Escolar	TR = 1,1
Índice de manutenção	Valor de ICP de 96 a 100	Índice = 0
	Valor de ICP de 61 a 95	Índice = 1
	Valor de ICP de 51 a 60	Índice = 2
	Valor de ICP de 26 a 50	Índice = 3
	Valor de ICP de 0 a 25	Índice = 4
MF	$MF = \frac{1 + \text{índice de manutenção}}{10}$	

Fonte: Adaptado de Becker (2012).

Em um estudo feito por Becker (2012) no qual o método de Tavakoli foi aplicado para verificar a priorização de vias no município de Suzano, observou-se que o principal fator de influência nos valores de IP foi o valor do ICP.

### 2.3 Modelo Multicritérios

O índice multicritérios adotado foi desenvolvido com base na opinião de alunos (decisores) de pós-graduação *stricto sensu* em Engenharia Civil da universidade cuja malha viária foi analisada. Os decisores selecionaram os critérios julgados necessários para avaliar a prioridade de manutenção de um pavimento, assim como o nível de importância de cada um desses critérios. O índice foi gerado pelo *software* M-Macbeth. O IP multicritérios poderá ser obtido pela Equação 3.

$$IP = 0,45.AP + 0,34.EDM + 0,17.FI + 0,04.HV \quad (3)$$

Em que: AP é o fator de avaliação da condição do pavimento; FI é o fator idade do pavimento; EDM é o fator de manutenção e HV é o fator hierarquia da via. No Quadro 2 são apresentadas as pontuações correspondentes aos níveis de desempenho relacionados a cada um desses fatores. Conforme visualizado a obtenção dessa pontuação pode ser de forma direta ou por uma equação. Os valores de IP obtidos com esse método encontram-se em um intervalo de -15,37 (menor ordem de prioridade) e 43,89 (prioridade máxima). Para maiores detalhes do desenvolvimento do índice, deve ser consultado o trabalho de Sequinel *et al.* (2018).

**Quadro 2** - Níveis e equações dos fatores do IP multicritérios

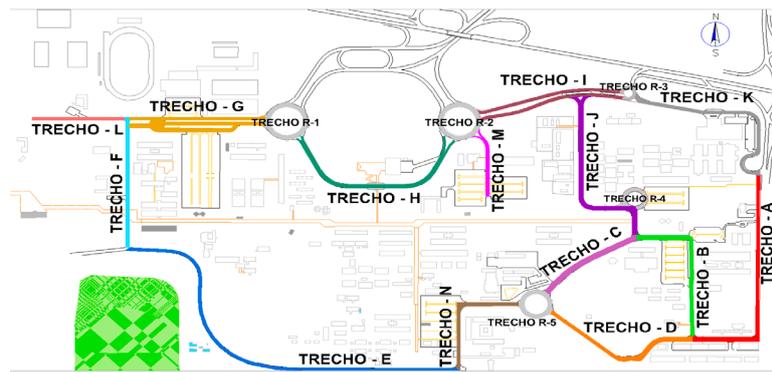
Fator	Nível de Desempenho	Equação/pontuação do Fator
AP	Valor de ICP de 76 a 100	$AP = -0,833 \cdot ICP + 62,50$
	Valor de ICP de 51 a 75	$AP = -0,40 \cdot ICP + 30$
	Valor de ICP de 26 a 50	$AP = -1,5996 \cdot ICP + 89,98$
	Valor de ICP de 0 a 25	$AP = -0,4608 \cdot ICP + 61,51$
EDM	Valor de ICP de 96 a 100	EDM = -15
	Valor de ICP de 61 a 95	EDM = 0
	Valor de ICP de 51 a 60	EDM = 10
	Valor de ICP de 26 a 50	EDM = 25
	Valor de ICP de 0 a 25	EDM = 40
FI	Idade do pavimento até 2 anos	$FI = -3$
	Idade do pavimento de 2 a 4 anos	$FI = 1,5 \cdot ID - 6$
	Idade do pavimento de 4 a 6 anos	$FI = 3 \cdot ID - 12$
	Idade do pavimento de 6 a 8 anos	$FI = 2 \cdot ID - 6$
	Idade do pavimento de 9 a 10 anos	$FI = 1,5 \cdot ID - 2$
	Idade do pavimento maior que 10 anos	$FI = 13$
HV	Classe Arterial	HV = 10
	Classe Coletora	HV = 0
	Classe Local	HV = -10

Fonte: Adaptado de Sequinel *et al.* (2018).

### 3 Método

Para o presente trabalho foram utilizados dados de avaliações subjetivas e objetivas coletados da rede de pavimentos de um campus universitário nos anos de 2017 e de 2018. As avaliações subjetivas foram realizadas por meio de caminhadas pelas vias do campus, no qual cada um dos seis avaliadores atribuía uma nota para a condição do pavimento. Para as avaliações objetivas foi utilizado o método do *Pavement Condition Index* (PCI) de acordo com a ASTM (2016).

A malha viária avaliada do campus da UEL é formada por pavimentos flexíveis e foi dividida em 19 trechos. Estes foram subdivididos em unidades amostrais (UAs) com áreas entre 135 e 315 m<sup>2</sup>, conforme o procedimento descrito na ASTM (2016), resultando no total de 199 UAs. A divisão dos trechos é apresentada na Figura 1.

**Figura 1** - Mapa do campus da UEL com a divisão dos trechos

Fonte: Autores.

Após obter os resultados das avaliações, foi calculado para cada UA o índice de prioridade simplificado ( $IP_{\text{simplificado}}$ ), de acordo com a Equação 1. Esse método foi calculado tanto para o valor do ICP da avaliação objetiva, resultando no  $IP_{\text{simplificado-obj}}$ , quanto para o valor médio das avaliações subjetivas ( $IP_{\text{simplificado-subj}}$ ).

De forma similar foram calculados o  $IP_{\text{Tavakoli-obj}}$  e o  $IP_{\text{Tavakoli-subj}}$ , de acordo com o método de Tavakoli com a Equação 2. Para o fator de tráfego, foi coletado o volume diário médio de cada trecho a partir de pesquisas realizadas em 2016 por alunos de graduação de Engenharia Civil. Para o tipo de tráfego, foi considerado “escolar” onde havia tráfego de ônibus (trechos A, C, D, G, H, I, J, K, R1, R2, R3 e R5), e “trânsito” onde não havia.

Como a rede viária da universidade não tem hierarquia definida, o fator de classe foi obtido em função das classes atribuídas nesta pesquisa em função das características de tráfego, de geometria, da quantidade de acessos, entre outros. Assim foram consideradas: arteriais as vias principais e que recebem o tráfego de ônibus; coletoras as vias com tráfego moderado, e locais aquelas vias com pouco tráfego, bem como os acessos curtos.

O  $IP_{\text{multicritério-obj}}$  e o  $IP_{\text{multicritério-subj}}$  foram calculados de acordo com a Equação 3. Para o HV foi considerada a mesma hierarquia da malha viária adotada anteriormente. O fator idade foi obtido com dados da prefeitura do campus, juntamente com dados de recapeamento que aconteceram durante a avaliação de 2017.

Todos os índices foram calculados para cada UA, e para determinar o valor para o trecho foi feita a média aritmética com os valores de IP obtidos nas UAs que os compunham. Os índices finais foram comparados de acordo com a classificação de prioridade por eles expressa.

O mesmo procedimento foi feito para os dados de 2018. As características gerais das vias foram mantidas, como a hierarquia e o tipo de tráfego. Apenas o fator idade foi reconsiderado, devido ao recapeamento feito em 2017 nos trechos B, H, I, J, M, R2, R3 e R5. Anteriormente, esses trechos apresentavam 10 anos ou mais, e após o recapeamento foi utilizado a idade de 1 ano.

## 4 Resultados e Discussões

A partir dos dados obtidos durante a pesquisa foi possível analisar o comportamento dos índices de priorização para cada trecho. Considerando os dados coletados no ano de 2017, os índices de prioridade relativos a cada modelo de priorização adotado, segundo cada tipo de avaliação da condição do pavimento, encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1** - Índices de prioridade de 2017

Trechos	IP <sub>Simplificado_subj</sub>	IP <sub>Simplificado_obj</sub>	IP <sub>Tavakoli_subj</sub>	IP <sub>Tavakoli_obj</sub>	IP <sub>Multicritérios_subj</sub>	IP <sub>Multicritérios_obj</sub>
A	0,22	0,44	0,000	0,000	5,88	3,92
B	0,09	0,09	0,010	0,010	23,93	17,36
C	0,12	10,32	0,000	0,280	6,62	20,56
D	0,17	0,33	0,000	0,010	12,73	14,48
E	0,11	0,99	0,010	0,030	-0,07	-7,35
F	0,14	0,59	0,010	0,020	4,60	6,69
G	0,21	0,42	0,000	0,000	4,66	10,95
H	0,24	0,45	0,000	0,000	3,42	11,63
I	2,25	1,31	0,010	0,010	8,90	22,61
J	0,12	0,11	0,000	0,000	11,42	23,51
K	0,29	1,24	0,000	0,010	11,33	23,69
L	0,01	0,02	0,007	0,008	1,33	12,67
M	0,01	0,01	0,005	0,003	-12,61	-8,41
N	0,02	0,14	0,006	0,030	15,03	29,97
R1	0,02	0,03	0,002	0,003	15,84	23,58
R2	0,01	0,01	0,004	0,002	-11,95	-8,13
R3	0,01	0,01	0,002	0,002	-3,68	-4,23
R4	0,02	0,07	0,003	0,009	13,08	25,83
R5	0,01	0,01	0,005	0,005	-9,17	-7,25

Fonte: Autores.

De início pode ser observado para o ano de 2017 que, na maioria dos trechos, o valor do IP<sub>Simplificado\_subj</sub> é menor que o IP<sub>Simplificado\_obj</sub>, reflexo dos maiores valores de ICP fornecidos pelos avaliadores. Isso pode ser atribuído ao fato de que alguns dos defeitos da superfície do pavimento considerados no método do PCI (avaliação objetiva), e que causam a redução do valor final do índice de condição, não influenciam na percepção dos avaliadores da qualidade do pavimento e, conseqüentemente, nas suas notas para a condição da superfície do pavimento. Podem ser citados como exemplo desses defeitos as trincas, o desgaste e o intemperismo.

Como cada índice possui um intervalo de valores diferentes, não é possível compará-los somente pelos valores numéricos. Na Tabela 2 são apresentadas as ordens

de prioridade atribuídas aos trechos em função do IPs obtidos. Dessa forma, quanto maior o valor de IP, maior a urgência de intervenção.

No geral, pode-se perceber que os trechos apresentaram uma flutuação entre suas classificações, tendo uma prioridade alta em alguns casos, e baixa em outros.

Comparando o  $IP_{\text{multicritérios\_subj}}$  com o  $IP_{\text{simplificado\_subj}}$ , observa-se que houve posições de prioridade iguais ou parecidas apenas nos trechos C, D, L, M, R2, R3 e R5. Considerando os IPs obtidos com as avaliações objetivas, observa-se que as posições se aproximaram somente nos trechos D, K, M, R2 e R5. A maioria desses trechos possuem, de acordo com o ICP, classificações de boa à excelente, pavimentos antigos, com mais de 10 anos, e com vias de classe coletora ou arterial.

**Tabela 2** – Prioridades em função dos IPs de cada trecho para o ano de 2017

Ordem de Priorização						
Trechos	$IP_{\text{Simplificado\_subj}}$	$IP_{\text{Tavakoli\_subj}}$	$IP_{\text{Multicritérios\_subj}}$	$IP_{\text{Simplificado\_obj}}$	$IP_{\text{Tavakoli\_obj}}$	$IP_{\text{Multicritérios\_obj}}$
A	4°	13°	10°	7°	16°	14°
B	11°	1°	1°	12°	5°	8°
C	8°	14°	9°	1°	1°	7°
D	6°	15°	5°	9°	6°	9°
E	10°	2°	15°	4°	2°	17°
F	7°	3°	12°	5°	4°	13°
G	5°	16°	11°	8°	17°	12°
H	3°	17°	13°	6°	18°	11°
I	1°	4°	8°	2°	7°	6°
J	9°	18°	6°	11°	19°	5°
K	2°	19°	7°	3°	8°	3°
L	15°	5°	14°	15°	10°	10°
M	19°	8°	19°	19°	13°	19°
N	13°	6°	3°	10°	3°	1°
R1	12°	11°	2°	14°	12°	4°
R2	18°	9°	18°	18°	14°	18°
R3	16°	12°	16°	17°	15°	15°
R4	14°	10°	4°	13°	9°	2°
R5	17°	7°	17°	16°	11°	16°

Fonte: Autores.

Comparando o  $IP_{\text{multicritérios\_subj}}$  com o  $IP_{\text{Tavakoli\_subj}}$ , só se encontra semelhança no trecho B. Já as prioridades decorrentes do  $IP_{\text{multicritérios\_obj}}$  e o  $IP_{\text{Tavakoli\_obj}}$  se assemelharam nos trechos I, L e R3. Para esses trechos não foi possível estipular um padrão em termos de classificação da condição da superfície do pavimento. Tais trechos, na maioria, são de vias arteriais ou locais com pavimentos antigos.

Além disso, nota-se que o  $IP_{\text{multicritérios\_obj}}$  e o  $IP_{\text{multicritérios\_subj}}$  se assemelharam na ordem de prioridade em sete trechos no total. O  $IP_{\text{simplificado\_obj}}$  e o  $IP_{\text{simplificado\_subj}}$  apresentaram semelhança em nove trechos. Já o  $IP_{\text{Tavakoli\_obj}}$  e o  $IP_{\text{Tavakoli\_subj}}$  se assemelharam em sete trechos. Nota-se, por meio da Tabela 1, que os  $IP_{\text{simplificado}}$  e  $IP_{\text{multicritérios}}$ , na maioria dos trechos, apresentam valores maiores para as avaliações objetivas do que para as subjetivas. O que era esperado, tendo em vista o peso do ICP nesses IPs e os valores obtidos e discutidos anteriormente no início desta seção. Com o  $IP_{\text{Tavakoli}}$  ocorre o inverso, as avaliações subjetivas apresentaram, em sua maioria, valores maiores. Acredita-se que o motivo para este último é a representatividade do ICP e demais critérios considerados no método, tendo em vista a forma de obtenção (cálculo) do índice de prioridade.

Posteriormente, foram obtidos os valores de IP para os dados de 2018. Os resultados se encontram na Tabela 3.

**Tabela 3 - Índices de prioridade de 2018**

Trechos	$IP_{\text{Simplificado\_subj}}$	$IP_{\text{Simplificado\_obj}}$	$IP_{\text{Tavakoli\_subj}}$	$IP_{\text{Tavakoli\_obj}}$	$IP_{\text{Multicritérios\_subj}}$	$IP_{\text{Multicritérios\_obj}}$
A	0,02	1,01	0,002	0,083	10,39	37,08
B	0,01	0,01	0,006	0,006	-1,90	-5,48
C	0,02	16,80	0,005	2,777	13,59	41,36
D	0,02	10,14	0,005	1,677	15,55	40,15
E	0,01	0,01	0,007	0,007	3,44	2,13
F	0,02	10,20	0,006	2,040	19,98	42,09
G	0,02	0,08	0,002	0,007	15,65	38,34
H	0,01	0,01	0,002	0,002	-1,87	-6,55
I	0,01	0,01	0,002	0,002	-2,42	-6,70
J	0,01	0,01	0,003	0,002	-0,03	-5,96
K	0,02	0,09	0,003	0,007	16,14	28,05
L	0,02	0,03	0,007	0,008	6,75	15,27
M	0,01	0,01	0,003	0,003	-3,12	-7,68
N	0,02	0,16	0,006	0,033	12,83	32,53
R1	0,02	0,15	0,002	0,011	11,69	40,34
R2	0,01	0,01	0,002	0,002	-1,92	-6,99
R3	0,01	0,01	0,002	0,002	-0,97	-5,97
R4	0,02	0,06	0,003	0,006	8,38	33,06
R5	0,01	0,01	0,006	0,005	0,25	-4,52

Fonte: Autores.

Assim com observado no ano anterior, em boa parte dos trechos para o ano de 2018 o valor do  $IP_{\text{Simplificado\_subj}}$  foi menor que o  $IP_{\text{Simplificado\_obj}}$  devido os maiores valores de ICP atribuídos nas avaliações subjetivas atribuindo-se o mesmo motivo anteriormente relatado.

Novamente, para melhor visualização, foram organizadas para o mesmo trecho as ordens de prioridade atribuídas em função do IP de cada método, considerando tanto as avaliações objetivas quanto as subjetivas. Isso pode ser visto na Tabela 4. É possível observar que, no geral, os índices com os dados de 2018 obtiveram menor flutuação quando comparados aos de 2017. Isso se atribui aos valores de ICP tendo em vista que os valores dos demais critérios não sofreram variações.

Nota-se que o  $IP_{\text{Simplificado\_subj}}$  e o  $IP_{\text{Multicritérios\_subj}}$  se assemelham em todos os trechos. O  $IP_{\text{Simplificado\_obj}}$  e o  $IP_{\text{Multicritérios\_obj}}$  também são similares em quase todos os trechos, excetuando os trechos G, N e R1. Esse fato reflete a importância atribuída ao ICP no  $IP_{\text{multicritérios}}$ . Assim, como o  $IP_{\text{simplificado}}$  leva em conta apenas o valor do ICP, as ordens de prioridade verificadas a partir do  $IP_{\text{multicritérios}}$  ficam próximas ou iguais.

Para os trechos que não se assemelharam foi observado que os pavimentos eram antigos (média de idade superior a 10 anos) e estavam, de acordo com o ICP, numa condição ruim da superfície do pavimento. Já para os trechos com posições prioritárias semelhantes, não foi possível estabelecer um padrão característico. Bem como, não se observou um padrão quanto à hierarquia da via.

**Tabela 4** - Prioridades de cada trecho para o ano de 2018

Trechos	Ordem de priorização					
	$IP_{\text{Simplificado\_subj}}$	$IP_{\text{Tavakoli\_subj}}$	$IP_{\text{Multicritérios\_subj}}$	$IP_{\text{Simplificado\_obj}}$	$IP_{\text{Tavakoli\_obj}}$	$IP_{\text{Multicritérios\_obj}}$
A	7°	15°	8°	4°	4°	6°
B	15°	3°	16°	13°	12°	13°
C	6°	7°	5°	1°	1°	2°
D	4°	8°	4°	3°	3°	4°
E	11°	1°	11°	11°	10°	11°
F	1°	5°	1°	2°	2°	1°
G	3°	13°	3°	8°	9°	5°
H	16°	16°	15°	15°	19°	16°
I	19°	18°	18°	17°	17°	17°
J	13°	11°	13°	14°	15°	14°
K	2°	12°	2°	7°	8°	9°
L	10°	2°	10°	10°	7°	10°
M	18°	9°	19°	18°	14°	19°
N	5°	4°	6°	5°	5°	8°
R1	8°	19°	7°	6°	6°	3°
R2	17°	17°	17°	19°	18°	18°
R3	14°	14°	14°	16°	16°	15°
R4	9°	10°	9°	9°	11°	7°
R5	12°	6°	12°	12°	13°	12°

Fonte: Autores.

Comparando o  $IP_{\text{multicritérios\_subj}}$  e o  $IP_{\text{Tavakoli\_subj}}$ , nota-se que as posições de prioridade se assemelham em apenas alguns trechos, como os trechos H, I, R2, R3 e R4. Já o  $IP_{\text{multicritérios\_obj}}$  e o  $IP_{\text{Tavakoli\_obj}}$  se encontraram próximos na maioria dos trechos, dentre eles os trechos B, C, D, E, F, I, J, K, R2, R3 e R5.

Os trechos que se assemelharam apresentaram em sua maioria classificação de ICP muito boas, e vias de classe arterial ou local. Já os trechos que não se assemelharam apresentaram em sua maioria classificação de ICP ruins.

Comparando o  $IP_{\text{multicritérios\_obj}}$  e o  $IP_{\text{multicritérios\_subj}}$ , obteve-se ordem de prioridades iguais ou parecidas para a maioria dos trechos, totalizando quinze deles. O  $IP_{\text{simplificado\_obj}}$  e o  $IP_{\text{simplificado\_subj}}$  apresentaram semelhança em dez trechos. Já o  $IP_{\text{Tavakoli\_obj}}$  e o  $IP_{\text{Tavakoli\_subj}}$  se assemelharam em apenas três trechos. Para os três IPs, observa-se por meio da Tabela 3 que, em sua maioria, os  $IP_{\text{obj}}$  apresentam valores maiores que os  $IP_{\text{subj}}$ .

Em uma análise final, apresenta-se na Tabela 5 e 6 uma análise da correlação entre as prioridades dos trechos apresentadas anteriormente nas Tabelas 2 e 4.

**Tabela 5** – Correlações para as prioridades baseadas na avaliação subjetiva

$IP_{\text{subj.}}$	Ano de 2017		Ano de 2018	
	$R^2$	R	$R^2$	R
Tavakoli x Simplificado	0,137	- 0,370	0,065	0,254
Multicritérios x Simplificado	0,144	0,378	0,986	0,99
Multicritérios x Tavakoli	0,01	-0,1	0,041	0,205

Fonte: Autores.

**Tabela 6** – Correlações para as prioridades baseadas na avaliação objetiva

$IP_{\text{obj.}}$	Ano de 2017		Ano de 2018	
	$R^2$	R	$R^2$	R
Tavakoli x Simplificado	0,179	0,422	0,911	0,954
Multicritérios x Simplificado	0,112	0,335	0,921	0,959
Multicritérios x Tavakoli	0,063	0,250	0,823	0,907

Fonte: Autores.

Conforme pode ser observado, a análise de correlação reforça os resultados e discussões anteriores, nas quais se observa que, de uma forma geral, os resultados obtidos para os dados do ano de 2018 apresentaram valores de correlação superiores aos de 2017, dando destaque ao  $IP_{\text{multicritérios\_subj}}$  versus  $IP_{\text{simplificado\_subj}}$  e ao  $IP_{\text{multicritérios\_obj}}$  versus  $IP_{\text{simplificado\_obj}}$ .

## 5 Considerações finais

Com a presente pesquisa, foi possível observar a aplicabilidade de um índice de priorização baseado em múltiplos critérios e desenvolvido por uma análise

construtivista. Ressalta-se que o experimento foi realizado na rede de um campus universitário com o intuito de representar, em pequena escala, pavimentos urbanos. Dessa forma, o procedimento pode ser expandido, não só para outros campi universitários cujas características os assemelham a uma minicidade, como também para diversos municípios.

Com base nos resultados da pesquisa foi possível observar que os valores de IP provenientes das avaliações objetivas, na maioria dos casos, foram mais elevados do que já era esperado devido ao rigor do método objetivo de avaliação da condição da superfície de pavimentos, já que nele são consideradas as características dos defeitos contidos na área analisada.

As ordens de priorização pelo  $IP_{\text{multicritérios}}$  para os dados de 2017 divergiram do ranking obtido pelo IP tradicionais e não foi possível estabelecer a característica padrão para explicar tal fato. Já para as prioridades relativas ao ano de 2018 tem-se que os resultados decorrentes do  $IP_{\text{multicritérios}}$  são semelhantes aos dos IPs tradicionais, principalmente para os locais com boas condições da superfície da via. As análises aqui desenvolvidas não permitiram verificar o motivo da diferença desse comportamento dos resultados entre os anos.

Considerando as prioridades verificadas no ano de 2018 o  $IP_{\text{multicritérios}}$  e o  $IP_{\text{simplificado}}$  apresentaram forte correlação tendo em vista que o maior peso foi atribuído ao critério ICP no  $IP_{\text{multicritérios}}$ , e no  $IP_{\text{simplificado}}$  apenas este parâmetro é considerado.

Dessa forma pode-se inferir que o índice desenvolvido com base na metodologia multicritério construtivista pode ser aplicado na priorização das vias de pavimentos flexíveis como uma maneira prática e eficiente para conhecer as vias candidatas à manutenção e assim auxiliar os gestores a estabelecer uma programação das prioridades com vistas a otimizar os escassos recursos financeiros dos municípios.

## Referências

- ALVES, K. R.; SANTAREM, L. M. S. *Análise técnica-econômica com aplicação do HDM-4 na gestão da manutenção rodoviária*. Anais: 44ª Reunião Anual de Pavimentação. Foz do Iguaçu – Paraná, agosto de 2015.
- ASTM D6433-16. *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. ASTM International, 2016.
- BECKER, V. E. G. *Aplicação do Modelo de Tavakoli Para Gerência de Manutenção de Pavimentos em Cidade de Médio Porte*. São Paulo, 2012.
- BODI, J.; BALBO, J. T. *Métodos para priorização de serviços de manutenção de pavimentos urbanos*. Anais: 31ª Reunião Anual de Pavimentação. São Paulo – São Paulo, outubro de 1998.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. *Pesquisa CNT de Rodovias*. 2016 20ª edição. CNT, 2016.
- DNIT. *Manual de gerência de pavimentos*. Rio de Janeiro, 2011.
- FERNANDES, F. M. L. S.; ODA, S.; GUERINI, J. F. Software de gerenciamento de pavimentos aplicado a vias urbanas de cidades de pequeno a médio porte. *Cadernos Zygmunt Bauman*, v. 8, n. 18, p. 232-351, 2018.
- HAAS, R.; HUDSON W. R. *Pavement management system*. McGraw-Hill Book Company, 1978.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Logística dos transportes no Brasil*. IBGE, 2014.
- LIMA, J. P.; RAMOS, R. A. R.; FERNANDES JÚNIOR, J. L. Uma abordagem multicritério para a priorização de vias pavimentadas. *Transportes*, v. 17, n. 1, p. 27-38, jun. 2009.
- MARCELINO, P. et al. Development of a Multi Criteria Decision Analysis Model for Pavement Maintenance at the Network Level: Application of the MACBETH Approach. *Frontiers in Built Environment*, v. 5, 2019.
- MOAZAMI, D.; BEHBAHANI, H.; MUNIANDY, R. Pavement rehabilitation and maintenance prioritization of urban roads using fuzzy logic. *Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 10, p. 12869-12879, 2011.
- PRAKASAN, A. C. et al. Pavement maintenance prioritization of urban roads using analytical hierarchy process. *International Journal of Pavement Research and Technology*, v. 8, n. 2, p. 112-122, 2015.
- SEQUINEL, L. F. et al. *Modelo de priorização para auxílio à tomada de decisão em gerência de pavimentos*. VIII CONBREPRO. Ponta Grossa, 2018.
- SERAFINI, L.; GONÇALVES, F. P. *Critérios para priorização de intervenções de manutenção em pavimentos rodoviários*. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS. Teoria e prática na engenharia civil, n. 7, p. 73-85, 2005.

SHAHIN, Y. *et al.* Evaluation of prioritization methods for effective pavement maintenance of urban roads. *International Journal of Pavement Engineering*, 15:3, 238-250, 2014. DOI: 10.1080/10298436.2012.657798

TAVAKOLI, A.; LAPIN, M. S.; FIGUEROA, J. L. PMSC: Pavement Management System for Small Communities. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 118, n° 2. P. 270-280. Cleveland, Ohio, 1992.

YONEKURA, C. M. *Avaliação de Métodos de Priorização de Manutenção de Pavimentos Flexíveis em um Campus Universitário*. Trabalho de conclusão de Curso. Londrina, 2017.