

## **CLASSIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS URBANOS A PARTIR DE IMAGENS**

***CLASSIFICATION OF THE CONDITION OF URBAN FLEXIBLE PAVEMENTS FROM IMAGES***

**Maria Fernanda Valério, Lucas Martins Fernandes, Carlos Alberto Prado da Silva Junior,  
Heliana Barbosa Fontenele**

Universidade Estadual de Londrina. Rodovia Celso Garcia Cid PR 445, Km 380. Câmpus Universitário. Londrina – PR.

E-mails: maria.fernanda7v@uel.br; lucas.fernandes@uel.br; cprado@uel.br; heliana@uel.br

Introdução  
Metodologia  
Ferramenta de classificação do pavimento  
Processamento e aquisição dos dados das imagens para cálculo do ICAP  
Levantamento por caminhamento  
Estratégias de intervenção  
Resultados e discussões  
Considerações finais  
Agradecimentos  
Referências

**RESUMO** - As avaliações de pavimentos flexíveis, de forma simplificada, costumam ser realizadas manualmente pelos profissionais *in loco*. Sendo assim, com o objetivo de analisar diferentes maneiras de levantamento, esta pesquisa busca verificar a viabilidade do uso de imagens de vias urbanas, obtidas com um drone, para classificar a condição da superfície. Para auxiliar na tomada de decisão quanto à manutenção e reabilitação, foi utilizado um índice de classificação, o qual identifica a qualidade da superfície do pavimento. Foi possível observar que a condição final do pavimento avaliado a partir das imagens registrou uma melhor classificação em relação ao resultado do levantamento por caminhamento na via, fazendo com que as medidas de intervenção e outras observações sejam diferentes entre os métodos.

**Palavras-chave:** Vias Urbanas. Gerência de Pavimentos. Fotogrametria. Índice de Classificação.

**ABSTRACT** - Flexible pavement evaluations, in a simplified way, are usually carried out manually by professionals on site. Thus, with the objective of analyzing different ways of surveying, this research seeks to verify the feasibility of using images of urban roads, obtained with a drone, to classify the condition of the surface. To assist in decision-making regarding maintenance and rehabilitation, a classification index was used, which identifies the quality of the pavement surface. It was possible to observe that the final condition of the pavement evaluated from the images registered a better classification in relation to the result of the survey by walking on the road, making the intervention measures and other observations different between the methods.

**Keywords:** Urban Roads. Pavement Management. Photogrammetry. Rating Index.

### **INTRODUÇÃO**

A malha viária pavimentada de um país representa um grande investimento da sociedade e constitui uma parcela significativa de seu patrimônio.

As vias pavimentadas, sob efeito do tráfego e das intempéries, se desgastam e tem sua capacidade de servir ao tráfego diminuída. Como consequência, necessitam, de tempos em tempos, de manutenção e reabilitação. Desse modo, é necessário que a prática de conservação e gestão de pavimentos sejam aprimoradas (Zanchetta, 2017).

A preservação adequada dessas vias é fundamental não apenas para prolongar sua vida útil, mas também para garantir a segurança e o conforto dos usuários, minimizando custos futuros com reparos emergenciais. Além disso, um sistema viário bem mantido contribui diretamente para o

desenvolvimento econômico, pois facilita o transporte de bens e pessoas de maneira eficiente.

Assim, para administrar e auxiliar nas tomadas de decisões em relação a malha viária brasileira, segundo o DNIT (2011), o Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) visa a manutenção e a destinação de recursos necessários.

No âmbito urbano, conforme Silva et al. (2021), surge a figura do Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU), que de forma similar e voltado à área urbana tem, de acordo com Vieira et al. (2016), o objetivo principal de alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico.

Os SGPs utilizam a técnica de priorização para a seleção de projetos e não a otimização,

normalmente utilizada pelos sistemas de rodovias interurbanas federais e estaduais. Além disso, são menos sofisticados, o que facilita o entendimento e a utilização por parte dos engenheiros municipais (Albuquerque, 2017).

Nesse contexto, é crucial que os gestores municipais disponham de ferramentas eficientes e adaptáveis para a priorização e execução de intervenções.

Embora os SGPs sejam menos sofisticados que os sistemas de rodovias interurbanas, essa simplicidade permite uma abordagem mais prática e flexível, especialmente em cidades de médio e pequeno porte, onde os recursos são limitados e o nível de especialização técnica pode ser inferior.

A integração dessas ferramentas com novas tecnologias pode otimizar a avaliação das condições dos pavimentos urbanos, proporcionando uma visão mais precisa das necessidades de manutenção e reabilitação.

Tais particularidades dos SGPs exercem uma influência direta nas metodologias de avaliação dos pavimentos, que podem ser realizadas de forma subjetiva quanto objetiva.

Conforme Silva et al. (2020) e Salvietto & Fontenele (2020), a avaliação subjetiva corresponde à medida da serventia da via, ou seja, do conforto e segurança ao rolamento proporcionado por um trecho de pavimento, a qual é determinada de acordo com a percepção dos usuários.

Em relação a avaliação objetiva, pode-se definir-a como um levantamento dos defeitos existentes na superfície da via. Para cada combinação de tipo, severidade e extensão dos defeitos na área avaliada, é atribuída uma pontuação e um índice, que possibilitará classificar a condição do pavimento.

Na pesquisa de Salvietto & Fontenele (2020), foi desenvolvida uma ferramenta de avaliação denominada de Índice de Condição Atual do Pavimento (ICAP).

Esse índice apresenta como principais indicadores para classificar os trechos de vias urbanas defeitos e a serventia atual do pavimento. O autor destacou a facilidade na obtenção dos dados como principal vantagem do método para auxiliar na tomada de decisões dos gestores. Ao abordar quesitos referentes a praticidade na gerência de pavimentos, atualmente pode-se analisar novas formas de avaliação em

combinação com índices de classificação, como a fotogrametria. Segundo Cintra & Gonçalves (2019) e Jardim & Gomes (2020), a fotogrametria é definida como a tecnologia de obter imagens de um determinado local para ser feita a análise e medição com os dados adquiridos. Em sua utilização, de acordo com Coelho & Brito (2017), a fotogrametria tem como um de seus objetivos diminuir a mão de obra e tempo de obtenção de coordenadas de vários pontos.

Ademais, tanto o levantamento utilizando a fotogrametria ou as análises feitas tradicionalmente *in loco*, atualmente, ambas estão sendo aprimoradas para desenvolver métodos eficientes voltados especialmente para pavimentos urbanos. Isso porque, há uma negligência nesse setor ao longo dos anos, pois a falta de recursos e um mau sistema de gerenciamento de pavimentos urbanos dificulta ainda mais a manutenção das vias urbanas do país, como explicam Pereira et al. (2013) e Merlo et al. (2022).

Segundo Morais (2005), o processo de avaliação, manutenção e recuperação de vias urbanas segue os mesmos princípios aplicados aos pavimentos rodoviários. No entanto, no caso das vias urbanas, é essencial desenvolver planos detalhados, apoiados por um inventário dos defeitos específicos dessas vias, com descrições claras e objetivas, visando garantir a eficácia das intervenções e a execução correta nos momentos apropriados.

Além disso, é importante destacar que, no Brasil, a maioria dos métodos utilizados para classificar a condição do pavimento são de origem estrangeira, sem que haja o desenvolvimento ou a valorização de abordagens específicas que considerem as particularidades das vias urbanas brasileiras.

Portanto, este artigo enfatiza a necessidade de pesquisas na gestão de pavimentos flexíveis para estabelecer procedimentos mais simples e confiáveis, alinhados às especificidades da área de estudo.

Nesse contexto, o trabalho propõe observar a proximidade entre um levantamento em campo e com as imagens capturadas do mesmo local, a fim de verificar a viabilidade do uso de imagens de vias urbanas para classificar a condição da superfície. Por fim, o intuito dessa análise é contribuir para a tomada de decisões dos SGPs e para a alocação adequada dos recursos disponíveis.

## METODOLOGIA

Nesta seção, será apresentado o procedimento desenvolvido na pesquisa para a aquisição dos dados da avaliação da condição da superfície do pavimento de um trecho urbano e sua posterior análise.

A coleta foi feita de forma manual, a partir de um levantamento por caminhamento (*in loco*), e a partir do uso das imagens do local obtidas por Gimenes et al. (2023), com o uso de um drone (*Remotely Piloted Aircraft* – RPA).

O trecho da via urbana selecionada por Gimenes et al. (2023) continha 200 metros de comprimento e foi subdividido em 10 unidades amostrais (UAs). Uma RPA de modelo DJI MINI 2 4K foi utilizada para filmar e fotografar o pavimento.

A malha viária deste estudo possui diferentes tipos de defeitos, além de um baixo fluxo de veículos, o que diminui interferências nas imagens obtidas pelo RPA e garante maior segurança e facilidade no levantamento por caminhamento. A presença reduzida de árvores também minimiza as perdas causadas por sombreamento. Ademais,

a via tem uma inclinação longitudinal inferior a 5,00%, o que facilita a manutenção da altura de voo e reduz distorções nas imagens capturadas.

Os referidos autores usaram o software *AutoCAD* para obter os dados necessários ao cálculo dos Índice de Condição do Pavimento do Instituto do Asfalto (ICP<sub>IA</sub>) e do *Pavement Condition Index* (PCI).

Nesta pesquisa será aplicado o ICAP, usando-se para sua validação a comparação com os resultados provenientes dos índices adotados por Gimenes et al. (2023).

### Ferramenta de classificação do pavimento

O ICAP, índice desenvolvido por Salviatto & Fontenele (2020), utiliza cinco critérios de avaliação: defeito do pavimento (DP), serventia atual (SA), volume do tráfego de ônibus (VTO), declividade longitudinal (DL) e drenagem (DNG). Cada um destes critérios possui subcritérios e pesos diferentes que influenciam nos cálculos. O resultado do ICAP é obtido conforme a Equação 1.

Todas as equações envolvidas nos subcritérios para gerar a Equação 1 são vistas na figura 1.

$$\text{ICAP} = 0,35 \cdot \text{DP} + 0,29 \cdot \text{AS} + 0,21 \cdot \text{VTO} + 0,12 \cdot \text{DL} + 0,03 \cdot \text{DNG} \quad (1)$$

DEFEITOS DO PAVIMENTO (DP)	VALOR DA SERVENTIA ATUAL (VSA)	
Buraco (BUR)	Intervalos de VSA	Função de SA
Trinca por Fadiga (TF)	0 a 40	$\rightarrow \text{SA} = 1,429 * \text{VSA}$
Trilha de Roda (TR)	40 a 70	$\rightarrow \text{SA} = 0,953 * \text{VSA} + 19,02$
Desgaste (DES)	70 a 100	$\rightarrow \text{SA} = 0,476 * \text{VSA} + 52,39$
Remendo (REM)		
$\text{DP} = 0,40 * \text{BUR} + 0,29 * \text{TF} + 0,20 * \text{TR} + 0,08 * \text{DES} + 0,03 * \text{REM}$		
VOLUME DE TRÁFEGO DE ÔNIBUS (VTO)	DECLIVIDADE LONGITUDINAL (DL)	
Números de ônibus em horário de pico (N)	Função VTO	Percentual de DL (X)
0 a 25	$\rightarrow \text{VTO} = -1,714 * \text{N} + 100$	0 a 3 $\rightarrow \text{DL} = -2,777 * \text{X} + 100$
25 a 30	$\rightarrow \text{VTO} = -11,428 * \text{N} + 342,84$	3 a 6 $\rightarrow \text{DL} = -8,333 * \text{X} + 116,67$
30 ou mais	$\rightarrow \text{VTO} = 0$	6 a 12 $\rightarrow \text{DL} = -11,11 * \text{X} + 133,33$
		12 ou mais $\rightarrow \text{DL} = 0$
DRENAGEM (DNG)	Abaulamento da via (AB)	
Declividade Longitudinal (DLD)	Função AB	
Percentual (X%)	Percentual (X%)	Função AB
0 a 2%	$\text{DLD} = 50 * \text{X}$	$\text{AB} = 42,11 * \text{X}$
2% ou mais	$\text{DLD} = 100$	$\text{AB} = 73,68 * \text{X} - 31,57$
		$\text{AB} = 42,1 * \text{X} + 15,8$
		$\text{AB} = -21,06 * \text{X} + 142,12$
		$\text{AB} = -42,1 * \text{X} + 194,72$
		$\text{AB} = 68,42$

Figura 1 - Critérios do ICAP. Fonte: Adaptada de Garcia et al. (2021).

Para a classificação geral do pavimento analisado, utiliza-se a escala de valores estabelecida para o índice e cujos intervalos estão apresentados na tabela 1.

**Tabela 1** - Classificação da condição do pavimento pelo ICAP).

ICAP	Classificação
<b>86 - 100</b>	Excelente
<b>71 - 85</b>	Muito Boa
<b>56 - 70</b>	Boa
<b>41 - 55</b>	Regular
<b>26 - 40</b>	Ruim
<b>11 - 25</b>	Muito Ruim
<b>0 - 10</b>	Péssima

**Fonte:** Adaptada de Salviatto & Fontenele (2020)

Os dados referentes ao critério volume do tráfego de ônibus (VTO) foram extraídos na internet a partir da verificação do itinerário das linhas de ônibus que passam no local avaliado. E, para a obtenção da declividade longitudinal (DL), a inclinação da superfície do terreno foi retirada no Google Earth.

A declividade longitudinal foi aplicada novamente para obter o resultado referente ao critério DNG.

#### **Processamento e aquisição dos dados das imagens para cálculo do ICAP**

As fotos e vídeos do drone obtidos por Gimenes et al. (2023) foram utilizados para construir um ortomosaico, com auxílio do software iTwin da Bentley Systems (licença estudantil versão 23.00.00.1317).

Além disso, como não foi possível medir a declividade transversal do pavimento pelo programa em questão, o software 3DF Zephyr (versão gratuita 7.531) serviu como base para a coleta deste dado necessário para o cálculo final do índice de classificação do pavimento.

A avaliação da via pelas imagens ocorreu em escritório e foi registrada em tabelas considerando seus defeitos e sua serventia atual, gerando o resultado da qualidade da via de forma instantânea.

A planilha desenvolvida continha todas as equações registradas na figura 1 e, conforme as análises de cada unidade amostral separadamente, a pontuação do ICAP indicava a classificação da via.

Ressalta-se que as análises foram feitas a partir do ortomosaico gerado.

#### **Levantamento por caminhamento**

Este procedimento, diferente da avaliação por imagens baseada nos dados da aeronave, foi desenvolvido *in loco*, em dias com condições meteorológicas favoráveis e um fluxo baixo de veículos, de forma a minimizar interferências externas que poderiam afetar a qualidade dos dados.

Inicialmente, a área selecionada foi marcada, sendo 200 metros de comprimento divididos em 10 unidades amostrais de 20 metros cada uma.

O avaliador, caminhando por cada UA, obteve a condição do pavimento por meio de avaliações objetivas e subjetivas, utilizando uma prancheta no local contendo os critérios do índice ICAP como base.

A principais observações foram referentes à presença dos cinco defeitos considerados pelo índice e o conforto de rolamento da via.

As notas da serventia atual foram dadas no local, variando de 0 (péssimo) a 100 (excelente) e os dados de VTO, DL e DNG foram obtidos em escritório para o cálculo final do índice.

#### **Estratégias de intervenção**

Após realizar o levantamento e obter a classificação final de cada unidade amostral, de forma complementar, foi indicado o grau de reparo necessário da via.

Para esta análise, foram utilizadas as diretrizes descritas no relatório de 2012 da *Minnesota Asphalt Pavement Association* (MAPA, 2012).

Na tabela 2 estão reproduzidos os intervalos de pontuações e suas respectivas atividades de manutenção de acordo com o MAPA (2012).

Na próxima seção apresentam-se os resultados obtidos e as análises dos dados referentes aos levantamentos.

Além disso, com o objetivo de viabilizar e apontar as diferenças entre a metodologia desta pesquisa e o trabalho utilizado como base, gráficos comparativos serão mostrados para evidenciar as proximidades ou possíveis discrepâncias do mesmo pavimento.

**Tabela 2** - Estratégias de intervenção.

Pontuação	Tipo de Intervenção
<b>0 a 30</b>	Reconstrução
<b>30 a 80</b>	Recapreamento
<b>Acima de 80</b>	Rotinas de manutenção

**Fonte:** Adaptada de MAPA (2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 3 é apresentado o ortomosaico do pavimento, gerado no iTwin, com todas as UAs demarcadas. Com a aferição dos parâmetros necessários para a obtenção do ICAP, a partir do levantamento feito no pavimento da imagem do

ortomosaico e por caminhamento *in loco*, foi possível obter a classificação da condição do pavimento de cada UA. Na tabela 3 são apresentados os valores do ICAP e as correspondentes classificações.



**Figura 3 - Ortomosaico do pavimento. Fonte:** Os autores (2024).

**Tabela 3 - Pontuação obtida pelo índice ICAP. Fonte:** Os autores (2024).

UA	Pontuação ICAP			
	Caminhamento	Imagem	Classificação (Caminhamento)	Classificação (Imagem)
1	93,22	93,91	Excelente	Excelente
2	68,9	83,17	Boa	Muito Boa
3	83,17	84,27	Muito Boa	Muito Boa
4	60,41	66,62	Boa	Boa
5	63,05	81,46	Boa	Muito Boa
6	64,36	81,39	Boa	Muito Boa
7	65,64	67,02	Boa	Boa
8	65,14	66,65	Boa	Boa
9	65,19	82,22	Boa	Muito Boa
10	65,25	67,17	Boa	Boa

É possível observar com a tabela 3 que todas as pontuações do índice obtidas a partir das imagens são superiores quando comparadas aos valores atingidos a partir dos dados do caminhamento.

Ou seja, pelo ortomosaico, a via aparenta possuir uma melhor condição. As unidades amostrais 1, 3, 4, 7, 8 e 10 registram resultados próximos pelos dois métodos de levantamento.

No entanto, ao analisar os dados referentes às UAs 2, 5, 6 e 9, nota-se que as pontuações são discrepantes.

Em média, a diferença entre os resultados gira em torno de 17 pontos, o que influencia na classificação final de cada pavimento.

Percebe-se que no levantamento por caminhamento, 80% das unidades foram consideradas com classificação “Boa”, enquanto por imagem, 40% das UAs são classificadas como “Boa”.

Além disso, por caminhamento, é registrado que 10% são classificadas como “Excelente” e os

outros 10% como “Muito Boa”. Já no método por imagem, 20% entram na categoria de “Excelente” e o restante de 40% se identificaram como “Muito Boa”

Em resumo, nota-se que por conta da variação de pontuação, as classificações oscilaram. Enquanto por caminhamento a maioria das UAs possui a condição “Boa”, isso foi diluído na avaliação por imagens, com uma maior porcentagem de “Excelente” e “Muito Boa”. Ou seja, as avaliações pelas fotos capturadas pelo drone proporcionaram a percepção de melhores condições do pavimento, ao contrário do levantamento *in loco*.

Em uma análise mais específica por unidade amostral, verifica-se a diferença da avaliação na UA 2, sendo por caminhamento “Boa” e na imagem, “Muito Boa”. Nas outras unidades que constam pontuações diferentes, aconteceu o mesmo que a UA 2. Uma justificativa para essa ocorrência é a questão da identificação dos defeitos e a nota da serventia atual. Pela imagem,

na maioria das UAs constava desgastes e trincas por fadiga, já por caminhamento, algumas unidades possuíam uma maior quantidade de buracos comparadas com as imagens capturadas pelo drone.

Portanto, com a identificação em maior escala do defeito “Buraco”, isso faz com que a nota da Serventia Atual diminua, o que gera uma queda na pontuação do índice e uma condição mais

deteriorada do pavimento. Por este motivo, em 4 unidades amostrais constaram notas muito diferentes entre os levantamentos.

Logo após as avaliações, para que medidas de intervenção sejam tomadas no pavimento, é necessário que o profissional trace planos de ação para a manutenção da via. Assim, com o auxílio do MAPA (2012), registrou-se as recomendações de intervenção indicadas na tabela 4.

**Tabela 4** - Estratégias de intervenção a partir da classificação pelo índice ICAP. **Fonte:** Os autores (2024).

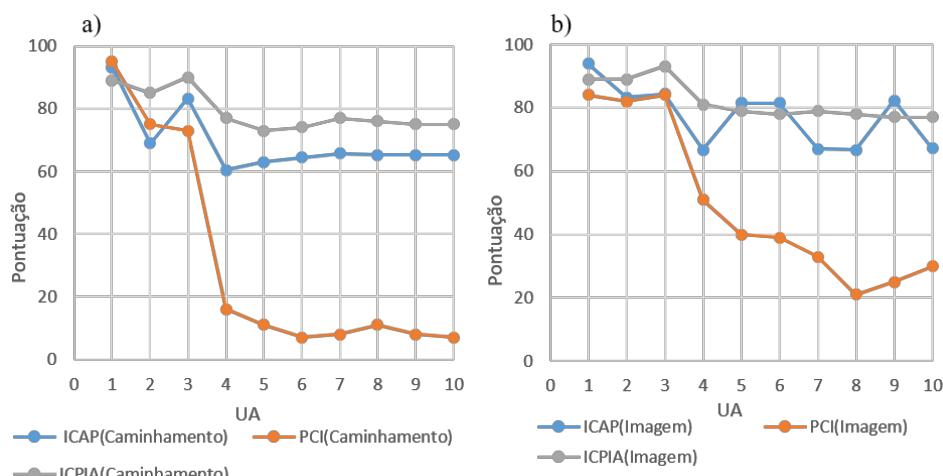
UA	Estratégias de Intervenção	
	Caminhamento	Imagen
1	Rotinas de Manutenção	Rotinas de Manutenção
2	Recapeamento	Rotinas de Manutenção
3	Rotinas de Manutenção	Rotinas de Manutenção
4	Recapeamento	Recapeamento
5	Recapeamento	Rotinas de Manutenção
6	Recapeamento	Rotinas de Manutenção
7	Recapeamento	Recapeamento
8	Recapeamento	Recapeamento
9	Recapeamento	Rotinas de Manutenção
10	Recapeamento	Recapeamento

Observa-se que 80% das estratégias de intervenções a partir do ICAP obtidas por dados do caminhamento são de “Recapeamento”, e que as atividades de manutenção da via indicadas em função do ICAP obtido com as informações extraídas nas imagens são 60% de “Rotinas de Manutenção” e 40% de “Recapeamento”. O percentual de concordância entre os levantamentos foi de 60%, com seis unidades amostrais indicando a mesma estratégia de manutenção.

Essas relações são condizentes com a comparação já feita por Gimenes et al. (2023) entre a condição do pavimento obtida por uso de imagem e realização de caminhamento, em que

foi constado que na avaliação *in loco* obteve-se um valor de índice que representa uma condição mais deteriorada do que aquele obtido com os registros feitos a partir das imagens, justificando-se o recapeamento ter sido escalado em maior quantidade para a via quando analisada em campo.

Com o objetivo de comparar os resultados do ICAP, obtidos neste trabalho, com os índices PCI e ICP<sub>IA</sub> gerados por Gimenes et al. (2023) no mesmo local da pesquisa, seguem as Figura 4a e 4b. O gráfico da Figura 4a representa as variações entre o ICAP, PCI e ICP<sub>IA</sub> calculados com dados provenientes dos levantamentos a partir de imagem.



**Figura 4** - Análise comparativa entre ICAP, PCI e ICP<sub>IA</sub>. **Fonte:** Os autores (2024).

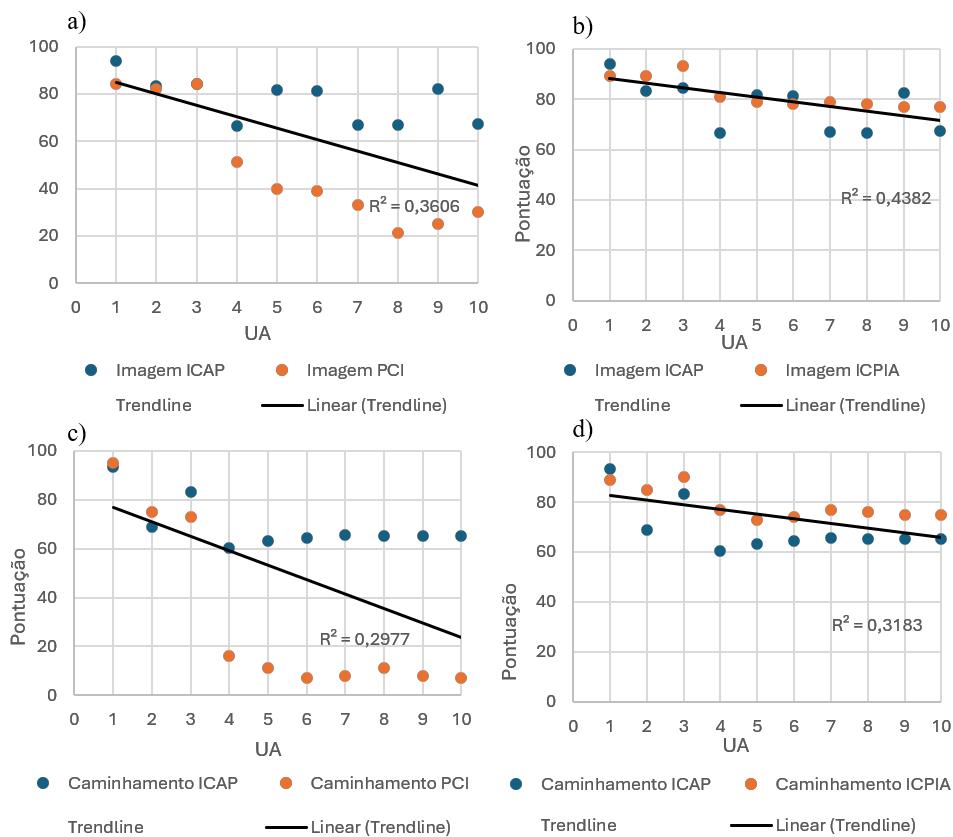
Ao observar as pontuações de cada UA, verifica-se que na maioria delas, as menores são do índice PCI, enquanto as maiores são do ICP<sub>IA</sub>. Estas variações em relação ao ICAP podem ser explicadas por que cada índice possui seus critérios e consideram defeitos diferentes. O método trabalhado nesta pesquisa considera apenas cinco defeitos, enquanto os outros índices levam em conta 14 e 20 defeitos, respectivamente.

Já em relação ao gráfico da Figura 4b, em que consta as variações dos índices por caminhamento, identifica-se que há uma maior diferença entre as pontuações. Apenas na UA 1 todas as avaliações são próximas, enquanto as outras UAs apresentam diferenças discrepantes, principal-

mente em relação ao método PCI. Este índice, a partir da UA 4, indica todos os pavimentos com uma condição mais deteriorada, ao contrário do ICAP e o ICP<sub>IA</sub>.

A correlação linear entre os índices está representada nos gráficos da figura 5.

Observa-se que a correlação indicada pelo valor de R em todas as comparações são consideradas positivas, variando de 55% a 66%. A dispersão dos pontos ao redor da linha de tendência sugere que, embora exista uma correlação, ela não é extremamente forte. Isso porque, nota-se que nas figuras 5a e 5c, conforme a pontuação do ICAP aumenta, o valor do PCI diminui.



**Figura 5 – Correlação entre os índices ICAP, ICP<sub>IA</sub> e PCI. Fonte:** Os autores (2024).

As análises mudam a partir das figuras 5b e 5d, relacionando os índices ICAP e ICP<sub>IA</sub>.

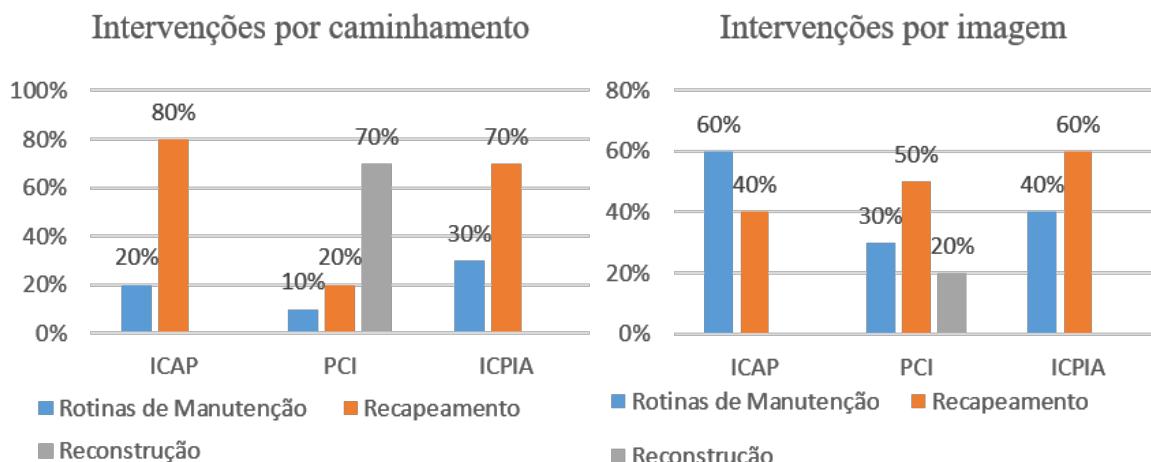
Além de conter a maior correlação, apresentam uma menor dispersão, o que indica maior proximidade entre as pontuações. Assim, embora todas as correlações sejam positivas, há variações consideráveis mais fortes entre o ICAP e PCI, comprando com as relações do ICP<sub>IA</sub>.

Como consequência das variações das classificações, as medidas de intervenção em alguns pavimentos mudaram, conforme mostra a figura 6.

Novamente, o índice PCI registra a opção de “Reconstrução”, mas desta vez com apenas 20%,

visto que por imagem o trecho é classificado com uma melhor condição. Pode-se observar também que, as intervenções tomadas pelo ICAP e ICP<sub>IA</sub> são exatamente as mesmas, com 60% para “Rotinas de Manutenção” e 40% para “Recapreamento”.

Portanto, a análise comparativa das medidas de intervenção, juntamente com a relação entre as notas de cada UA na figura 4, revela uma maior compatibilidade entre os índices ICAP e ICP<sub>IA</sub>. Além disso, destaca as diferenças em relação ao índice PCI, que registou pontuações mais baixas da via, classificando-a como mais deteriorada.



**Figura 6** - Relação entre as intervenções por caminhamento e por imagem com os respectivos índices.

A comparação entre os levantamentos por caminhamento e por imagens evidenciou diferenças significativas na avaliação da condição dos pavimentos, com impacto direto nas decisões de manutenção. Essas discrepâncias indicam que a utilização de imagens capturadas por RPA pode, em alguns casos, superestimar a qualidade do pavimento, o que tem implicações práticas relevantes.

Primeiramente, as discrepâncias observadas nos resultados afetam diretamente a priorização das intervenções. Quando os pavimentos são avaliados com base em imagens, a menor identificação de defeitos específicos, como buracos ou trincas finas, pode levar a decisões de manutenção menos rigorosas, como a simples

realização de rotinas de manutenção.

Entretanto, a avaliação presencial, que capta mais detalhadamente os defeitos, aponta para a necessidade de medidas corretivas mais abrangentes, como resurfacing ou até mesmo reconstrução em algumas áreas. Essas variações afetam o planejamento a longo prazo. A subestimação das condições dos pavimentos pode levar à deterioração acelerada, uma vez que problemas não identificados adequadamente tendem a se agravar com o tempo, exigindo intervenções de maior custo e complexidade no futuro. Ou seja, a escolha de um método de avaliação que não capte os defeitos com a devida precisão pode aumentar os custos de manutenção a longo prazo e comprometer a vida útil do pavimento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou aprimorar o procedimento de avaliação de pavimentos, utilizando índices para classificar suas condições.

Assim, demonstrou-se a viabilidade de sua aplicação como uma ferramenta de apoio ao gerenciamento de pavimentos em áreas de municípios, visando otimizar a alocação dos recursos escassos disponíveis para a manutenção dessas infraestruturas.

Sendo assim, foi possível concluir que o pavimento analisado obteve melhores pontuações por meio das imagens com a aeronave remotamente pilotada.

Enquanto o levantamento em campo registrou notas menores com o ICAP, fazendo com que a via apresentasse uma classificação mais deteriorada em relação às imagens capturadas.

Além disso, as análises comparativas com o trabalho de Gimenes et al. (2023), permitiram identificar as diferenças a partir dos índices

escolhidos para obter a classificação da via.

Tais mudanças influenciam na verificação das informações necessárias para o cálculo final da condição do pavimento, o que ficou evidente nos gráficos de comparação entre as pesquisas.

A aplicação de fotogrametria na análise de pavimentos mostrou-se não apenas eficaz, mas também sustentável, ao reduzir a necessidade de mão de obra e minimizar o tempo de análise. Essa abordagem representa um avanço significativo para a gestão urbana, possibilitando intervenções mais práticas e precisas.

No entanto, embora a tecnologia ofereça maior praticidade, conforme evidenciado pelos resultados obtidos, é necessário que estudos adicionais sejam conduzidos para aprimorar o método e garantir que as avaliações feitas com imagens sejam mais compatíveis com o tradicional caminhamento realizado pelos profissionais.

Dessa forma, será possível consolidar essa metodologia como uma alternativa confiável e complementar às práticas convencionais, garantindo a alocação eficiente dos recursos públicos e prolongando a vida útil das vias urbanas. Portanto, com o intuito de otimização e desenvolvimento da avaliação de pavimentos por meio da fotogrametria, é de suma importância

que todos os passos da metodologia escolhida precisam ser levados em consideração, como neste caso.

As ferramentas utilizadas para a captação das imagens, os índices responsáveis pela classificação final, bem como outras tecnologias inseridas como os softwares, são pontos que influenciam nas tomadas de decisões.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, T.P. **Índice de condição baseado em defeitos superficiais para gerência de pavimentos urbanos.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2017.
- BRITO, J.L.N. S. & COELHO FILHO, L.C.T. Fotogrametria digital. **Revista Ra'e Ga: o espaço geográfico em análise.** Curitiba, Paraná, v. 40, p. 236 -246, 2017.
- CINTRA, J.P. & GONÇALES, R. Aplicações das tecnologias Laser Scan e aerofotogrametria por drone para museus. **Anais do Museu Paulista.** Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, v. 27, p. 1-28, 2019.
- DNIT: Manual de gerência de pavimentos. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes,** Rio de Janeiro, 2011.
- GARCIA, C.; SILVA JÚNIOR, C.A.P.; FONTENELE, H.B. ICAP: Projeto de aplicativo de avaliação de pavimentos urbanos. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, XXXV. **Anais....** Santos: ANPET, 2021.
- GIMENES, L.A.; RODRIGUES, A.; MELO, F.V.; NAKAO, F.; RODRIGUES, V.E.; FONTENELE, H.B. Avaliação de pavimentos flexíveis urbanos com o uso de aeronave remotamente pilotada à baixa altura para análise de levantamento de defeitos. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, XXXVII, 2023. **Anais... Santos:** ANPET, 2023.
- JARDIM, H.C.M. & GOMES, G.A.M. **Utilização da fotogrametria para levantamentos topográficos na construção civil.** Varginha, Minas Gerais, 2020. Disp.: Hugo César Mendes Jardim.pdf (unis.edu.br)
- MERLO, P.; SILVA JÚNIOR, C.A.P.; FONTENELE, H.B. Análise de um índice de priorização para manutenção dos pavimentos flexíveis de um campus universitário. **Revista de Engenharia Civil IMED,** Passo Fundo, v. 9, n. 2, p. 20-35, 2022.
- MINNESOTA ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. **Best Practices Handbook on Asphalt Pavement Maintenance.** Saint Paul, Estados Unidos. Minnesota: MAPA, 2012.
- MORAIS, C.A.S. **Uma proposta para avaliação, manutenção e restauração de pavimentos das vias urbanas.** Campina Grande, Paraíba, 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba.
- PEREIRA, L.A.; OLIVEIRA, F.M.; SILVA JÚNIOR, C.A.P.; FONTENELE, H.B. Utilização de escala visual para avaliação das vias urbanas. **Revista de Engenharia e Tecnologia,** Ponta Grossa, v. 5, n. 4, 2013.
- SALVIATTO, V.H & FONTENELE, H.B. Index for assessing the condition of flexible urban pavements based on a constructivist multicriteria analysis. **Revista Ingeniería de Construcción, Escola de Engenharia da Pontifícia Universidad Católica de Chile,** Chile, v. 36, n. 2, 2020.
- SILVA, K.A.B.; SALVIATTO, V.H.; SILVA JÚNIOR, C.A.P.; FONTENELE, H.B. Análise comparativa de índices de classificação da condição de pavimentos flexíveis. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, XXXIV, 2020. **Anais...Santos:** ANPET, 2020.
- SILVA, M.; SALVIATTO, V.H.; SILVA, K.A.B.; SILVA JÚNIOR, C.A.P.; FONTENELE, H.B. Análise de um índice de classificação da condição de pavimentos flexíveis urbanos. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão, Paranaguá,** Paraná, v. 6, n. 2, p. 332-01, 332-19, 2021.
- VIEIRA, S.A.; PINHO JÚNIOR, A.A.E.; OLIVEIRA, F.H.L.; AGUIAR, M.F.P. Análise comparativa de metodologias de avaliação de pavimentos flexíveis através do IGG e PCI. **Conexões – Ciência e Tecnologia,** Fortaleza, Ceará, v. 10, n. 3, p. 20 - 30, 2016.
- ZANCHETTA, F. **Sistema de gerência de pavimentos urbanos: Avaliação de campo, modelo de desempenho e análise econômica.** São Carlos, 2017. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.

Submetido em 24 de janeiro de 2025  
Aceito para publicação em 10 de julho de 2025