



## Análise do conforto de pavimentos cicloviários com dados de smartphones

### Analysis of the comfort of cycling pavements with smartphone data

Nicolly Novais Sousa<sup>1</sup>, Igo Brasil Monteiro<sup>2</sup>, Vinicius Pegorini<sup>3</sup>, Danilo Bisconsini<sup>4</sup>

#### RESUMO

A avaliação de pavimentos cicloviários é fundamental para garantir conforto e segurança aos usuários, e o bom desempenho das bicicletas. Esta avaliação pode ser feita por caminhamento, registrando-se a extensão e severidade dos defeitos, ou por avaliações subjetivas, tradicionalmente adotadas para pavimentos de rodoviários. No entanto, tais métodos demandam tempo e profissionais capacitados para sua execução. Neste estudo, utiliza-se dados do acelerômetro e Sistema de Posicionamento Global de smartphones para avaliar o conforto de pavimentos cicloviários em três tipos de revestimentos: asfáltico, concreto de cimento Portland (CCP) e paver. Através das acelerações registradas no guidão e assento da bicicleta, avaliou-se as vibrações ao longo das vias e sua distribuição espectral de frequência. Os resultados indicam que pavimentos revestidos por paver geram mais desconforto, com aceleração média de 3,4 m/s<sup>2</sup>, enquanto o pavimento asfáltico e de CCP apresentaram valores em torno de 2,0 m/s<sup>2</sup>. O estudo demonstrou a utilidade de smartphones na gerência de infraestruturas cicloviárias, permitindo análises práticas e de baixo custo, incluindo análise de sinais e criação de mapas temáticos em Sistemas de Informações Geográficas.

**PALAVRAS-CHAVE:** bicicletas; ciclovias; conforto.

#### ABSTRACT

The evaluation of cycling pavements is essential to guaranteeing comfort and safety for users and the good performance of bicycles. Walking surveys allow for recording the extent and severity of pavement distress. Subjective evaluations are also traditionally adopted for road pavements. However, such methods require time and trained professionals to execute them. This study uses data from the accelerometer and Global Positioning System of smartphones to evaluate the comfort of cycling pavements in three coverings: asphalt, Portland cement concrete, and pavers. Through the accelerations recorded on the handlebars and seat of the bicycle, the study evaluates the vibrations along the roads and their spectral frequency distribution. The results indicate that paver-covered pavements generate more discomfort, with an average acceleration of 3.4 m/s<sup>2</sup>, while asphalt and CCP pavements presented values around 2.0 m/s<sup>2</sup>. The study demonstrated the usefulness of smartphones in the management of cycling infrastructure, allowing practical and low-cost analyses, including signal analysis and the creation of thematic maps in Geographic Information Systems.

**KEYWORDS:** bicycles; cycle paths; comfort.

## INTRODUÇÃO

As vibrações são uma das principais causas de desconforto aos ciclistas, influenciando na escolha de bicicletas (GAO *et al.*, 2018) e ciclorrotas (BÍL *et al.*, 2015; LANDIS *et al.*, 2017). A ISO 2631-1 (1997) define critérios para a avaliação do conforto

<sup>1</sup> Bolsista do CNPq. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: nicollysousa@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 0114650354299586.

<sup>2</sup> Akiyama Group, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: imonteiro@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3363387160397452.

<sup>3</sup> Departamento de Informática, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil, 85503-390; e-mail: vinicius@utfpr.edu.br. ID Lattes: 9584015577266322.

<sup>4</sup> Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil, 85503-390; e-mail: bisconsini@utfpr.edu.br

relativo às Vibrações de Corpo Inteiro (VCI), podendo ser aplicada na avaliação do conforto de ciclistas (GAO *et al.*, 2018; NUÑEZ *et al.*, 2020; CAFISO *et al.*, 2022). Neste estudo, esta norma foi utilizada para a análise de vibrações provocadas por irregularidades de pavimentos, permitindo identificar ciclorrotas mais confortáveis para o ciclismo e trechos críticos que demandam manutenção, contribuindo para a gestão de redes cicloviárias.

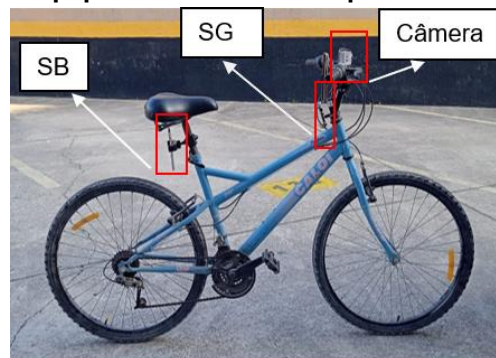
## MATERIAIS E MÉTODOS

Para obter os resultados de interesse, foram cumpridas as seguintes etapas: definição das ferramentas e dos trechos experimentais; coleta de dados em campo; divisão dos trechos em segmentos; classificação do conforto ao rolamento.

Dois smartphones foram utilizados na coleta de dados, um da marca *Apple*, modelo *iPhone 13* iOS 16.1, posicionado no guidão da bicicleta, e um *Motorola*, modelo *Moto G 22*, posicionado abaixo do banco da bicicleta, denominados, neste trabalho, como SG e SB, respectivamente. As acelerações do SG e SB foram obtidas a 100 Hz e 200 Hz (dados por segundo), respectivamente, enquanto as coordenadas geográficas fornecidas pelo GPS foram coletadas à taxa de 1 Hz. As taxas foram definidas como as máximas alcançadas por estes modelos de smartphone. O aplicativo *Pyphox* (*physical phone experiments*), criado no 2º Instituto de Física da Universidade RWTH Aachen foi utilizado para coletar tais dados.

A bicicleta utilizada foi da marca *Caloi*, modelo Ultra Feminino Aro 26. Além dos dados de aceleração e GPS, também foram obtidas imagens dos trechos, por meio de uma câmera da marca *Eken*, modelo H9r 4k. As posições onde foram fixados os smartphones e a câmera são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Equipamentos utilizados para a coleta de dado



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A coleta de dados ocorreu em três trechos de 1000 metros de extensão cada, com diferentes revestimentos. O primeiro trecho, revestido com *paver*, está localizado entre as ruas Fábio Lopes dos Santos Luz e Itanhatim no bairro Vila Andrade; o segundo trecho, de concreto, corresponde ao percurso completo da ciclovia do Parque do Povo; e o terceiro trecho, de revestimento asfáltico, se encontra na Avenida da Ligação.

Os dados coletados pelos smartphones (data, acelerações e localização) foram organizados em planilhas eletrônicas e separados de acordo com o trecho e sua posição na bicicleta. Para o processamento dos dados, utilizou-se o programa *Roadfy* desenvolvido por Monteiro (2023). O programa permite a divisão dos trechos de acordo com a preferência



do usuário. Cada um dos trechos apresentava extensão de 1000 metros, sendo todos divididos em segmentos de 10 em 10 metros.

Apesar de o aplicativo *Pyphox* fornecer dados de aceleração dos três eixos do smartphone, neste estudo foram utilizadas apenas acelerações verticais, correspondentes ao eixo y dos smartphones para a posição em que foram fixados. A média das acelerações verticais obtida em cada segmento foi calculada conforme a Eq. (1):

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (1)$$

Em que: *RMS* = raiz média quadrática das acelerações verticais (m/s<sup>2</sup>);

*n* = enésimo valor em um intervalo de 10 metros;

*x<sub>i</sub>* = acelerações verticais coletadas em cada segmento de 10 metros (m/s<sup>2</sup>).

O cálculo da RMS foi realizado após a aplicação de um filtro passa-alta do tipo *Butterworth* de ordem 5, com valor de corte de 0,5 Hz. Este filtro e valor de corte foram utilizados apenas com o objetivo de remover a aceleração da gravidade, em torno de 9,81 m/s<sup>2</sup>. Na sequência, os valores de RMS foram classificados com base em uma adaptação da norma ISO 2631-1 (1997). Na Tabela 1a, apresenta-se os valores numéricos e os conceitos considerados nesta norma. Nesta pesquisa, propôs-se uma adaptação dos valores numéricos empregados nesta norma, assim como aos conceitos a elas associados, conforme apresentado na Tabela 1b. Esta adaptação foi motivada por dois fatores: i) a classificação original apresenta uma sobreposição de valores que definem cada conceito de conforto, dificultando a definição de uma classificação objetiva para valores para alguns intervalos numéricos; e ii) reduzir o número de classes de seis para cinco níveis, para que seja possível definir uma classificação simétrica, com uma categoria que indique uma condição de conforto intermediária, o que é útil para fins de gerência de infraestruturas no processo de tomada de decisões.

**Tabela 1 - a) classificação do conforto de acordo com a ISO 2631-1 e b) adaptação proposta**

RMS (m/s <sup>2</sup> )	Classificação
< 0,315	Confortável
0,315 – 0,63	Pouco desconfortável
0,50 – 1,0	Razoavelmente desconfortável
0,80 – 1,60	Desconfortável
1,25 - 2,5	Muito desconfortável
> 2,5	Extremamente Desconfortável

(a) Fonte: ISO 2631-1

RMS (m/s <sup>2</sup> )	Classificação
< 0,5	Confortável
0,5 - 1,0	Pouco desconfortável
1,0 - 1,6	Razoavelmente
1,6 - 2,5	Desconfortável
> 2,5	Muito desconfortável

(b) Fonte: ISO 2631-1 (adaptada)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2, apresentam-se as estatísticas descritivas dos dados obtidos.

**Tabela 2 - Estatísticas descritivas das acelerações**



Trecho e posição	DP (m/s <sup>2</sup> )	CV (%)	Mín. (m/s <sup>2</sup> )	Máx. (m/s <sup>2</sup> )	Alcance (m/s <sup>2</sup> )	Média (m/s <sup>2</sup> )	Mediana (m/s <sup>2</sup> )
Paver SB <sup>1</sup>	1,37	40,73	1,60	7,44	5,84	3,36	3,09
Paver SG <sup>2</sup>	1,90	56,13	1,13	8,99	7,85	3,38	2,76
Concreto SB	0,49	29,18	0,40	3,96	3,56	1,70	1,61
Concreto SG	0,71	32,40	0,93	4,72	3,79	2,20	2,02
Asfáltico SB	0,87	42,89	0,73	5,38	4,66	2,03	1,98
Asfáltico SG	0,89	46,32	0,76	6,14	5,38	1,92	1,66

<sup>1</sup>SB: smartphone no banco. <sup>2</sup>SG: smartphone no guidão.

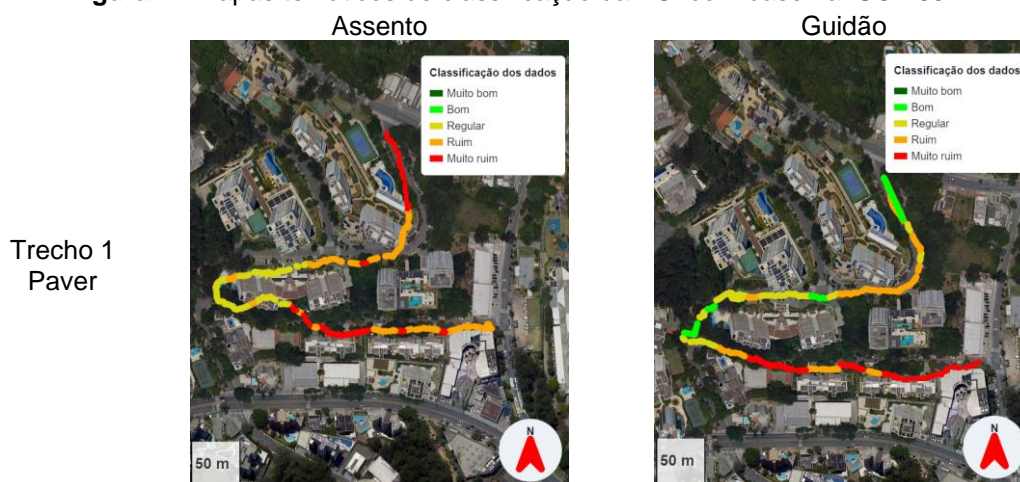
Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

O maior desvio padrão ocorreu para o pavimento de paver, no valor de 1,90 m/s<sup>2</sup>, medida no guidão, e o menor desvio de 0,49 m/s<sup>2</sup>, medido no pavimento de concreto, no assento. Nota-se que o desvio é maior nos dados coletados no guidão da bicicleta. Considerando os dados coletados no guidão e assento, os pavimentos revestidos por paver geraram mais desconforto, com aceleração média de 3,4 m/s<sup>2</sup>, enquanto o pavimento asfáltico e de CCP apresentaram valores em torno de 2,0 m/s<sup>2</sup>.

O conforto proporcionado também foi analisado por meio de mapas temáticos, com base na classificação da ISO 2631-1 adaptada (Tabela 1b), sendo estes elaborados a partir do programa *Roadify*. As cores das categorias de classificação variam do verde escuro (muito bom) ao vermelho (muito ruim), conforme a Figura 2.

No geral, o pavimento asfáltico apresenta maior variabilidade de vibrações entre os pavimentos, com trechos de 10 metros em todas as faixas de classificação. Por outro lado, o pavimento de paver não apresentou dados nas categorias "confortável" e "pouco confortável", mas principalmente "desconfortável" e "muito desconfortável". Para os pavimentos de CCP, a maioria foi classificada como "razoavelmente desconfortável".

**Figura 2** - Mapas temáticos de classificação da VCI com base na ISO 2631-1





Trecho 2  
CCP



Trecho3  
Asfáltico



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

## CONCLUSÕES

Conclui-se que os smartphones são ferramentas úteis para a avaliação de conforto de pavimentos cicloviários, gerando resultados práticos e objetivos, com um baixo custo. Sua aplicação pode contribuir para as tomadas de decisões pelos gestores de infraestruturas cicloviárias. Levando em conta as acelerações medidas no guidão e assento, os pavimentos revestidos por paver geraram mais desconforto, com aceleração média de  $3,4 \text{ m/s}^2$ , enquanto o pavimento asfáltico e de CCP apresentaram valores em torno de  $2,0 \text{ m/s}^2$ .

O pavimento revestido por paver apresentou dos segmentos classificados como “Desconfortável”, tanto na posição assento quanto para o guidão. O pavimento de CCP apresentou a maioria de seus segmentos classificados como “Razoavelmente Desconfortável”, tanto para o guidão quanto para o assento, enquanto o pavimento asfáltico apresentou a maioria dos segmentos classificados como “Razoavelmente Desconfortável” para as vibrações no assento e “Pouco Desconfortável” para as vibrações no guidão. Os pavimentos asfálticos e de CCP apresentaram conforto vibracional semelhante, sendo menos desconfortáveis que os pavimentos revestidos por paver.

## Agradecimentos



Os autores agradecem apoio financeiro recebido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

### Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

### REFERÊNCIAS

BÍL, Michal; ANDRÁŠIK, Richard; KUBEČEK, Jan. How comfortable are your cycling tracks? A new method for objective bicycle vibration measurement. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, [s. l.], v. 56, p. 415–425, 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0968090X15001795>.

CAFISO, Salvatore et al. Urban road pavements monitoring and assessment using bike and e-scooter as probe vehicles. **Case Studies in Construction Materials**, [s. l.], v. 16, p. e00889, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214509522000213>.

GAO, Jie et al. Evaluating the cycling comfort on urban roads based on cyclists' perception of vibration. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 192, p. 531–541, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618313258>.

International Organization for Standardization – ISO. **ISO 2631-1: Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to wholebody vibration — Part 1: General requirements**. 1997.

LANDIS, Bruce W.; VATTIKUTI, Venkat R.; BRANNICK, Michael T. Real-time human perceptions: Toward a bicycle level of service. **Transportation Research Record**, [s. l.], n. 1578, p. 119–131, 1997.

MONTEIRO, I. B. **Desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio à avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Computação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2023.

NUÑEZ, Javier Yesid Mahecha; BISCONSINI, Danilo Rinaldi; RODRIGUES DA SILVA, Antônio Néilson. Combining environmental quality assessment of bicycle infrastructures with vertical acceleration measurements. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [s. l.], v. 137, p. 447–458, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0965856417309217>.