



Avaliação do conforto proporcionado por pavimentos cicloviários por meio de dados de smartphones

Evaluation of the comfort provided by cycle paths using smartphone data

Giovane Vaz Costa¹, João Pedro Bissoli², Jesner Sereni Ildefonso³, Danilo Rinaldi Bisconsini⁴

RESUMO

A conservação de infraestruturas cicloviárias é essencial a toda cidade que busca fomentar esse modo de transporte. Uma forma de mensurar a qualidade dos pavimentos se dá por meio do levantamento das acelerações verticais ocorridas na bicicleta, de modo que acelerações maiores representam maior desconforto. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo verificar a possibilidade do uso de dados de smartphones para essa avaliação, resultando em um procedimento prático e de baixo custo. Assim, foram utilizados dados coletados em três estruturas cicloviárias da cidade de Maringá – PR, com diferentes modelos de smartphones. Além disso, foi realizada uma coleta de dados por meio de um questionário aplicado a usuários das vias. As análises foram baseadas nas normas ISO 5349-1 e NHO-10, que indicam métodos para análise e classificação dessas vibrações para vibrações mão-braço, respectivamente. Como resultado, verificou-se que a ciclovia da Avenida Pedro Taques apresentou o maior nível de desconforto. Constatou-se que há uma correlação forte e negativa entre as acelerações verticais e as notas subjetivas dos ciclistas, e uma correlação forte e positiva entre velocidade e vibrações. O processamento indicou que, mesmo com uso frequente, não existem implicações à saúde do ciclista por conta do uso das cicloestruturas analisadas.

PALAVRAS-CHAVE: pavimentos cicloviários; infraestrutura cicloviária; ciclorrotas.

ABSTRACT

A maintenance of cycling infrastructure is essential for any city looking to promote this mode of transportation. One way to assess the quality of the pavements is by measuring the vertical accelerations experienced by bicycles, where higher accelerations indicate greater discomfort. In this regard, this study aims to investigate the possibility of using smartphone data for this evaluation, resulting in a practical and low-cost procedure. Therefore, data collection was conducted on three cycling structures in the city of Maringá - PR, using different smartphone models. In addition, data was collected through a questionnaire administered to road users. The analyses were based on ISO 5349-1 and NHO-10 standards, which provide methods for the analysis and classification of these vibrations for hand-arm vibrations, respectively. As a result, it was found that the cycle path on Avenida Pedro Taques had the highest level of discomfort. It was observed that there is a strong negative correlation between vertical accelerations and cyclists' subjective ratings, and a strong positive correlation between speed and vibrations. The processing indicated that, even with frequent use, there are no health implications for cyclists due to the use of the analyzed cycle structures.

KEYWORDS: cycle paths; cycling infrastructure; cycle routes.

¹ Bolsista do Programa de Iniciação Científica da UTFPR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: giovanec@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 5223731128131256.

² Engenheiro civil. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil. E-mail: jpbissoli@hotmail.com. ID Lattes: 6152483932399871.

³ Docente na Engenharia Civil/DEC. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. E-mail: jsildefonso@uem.br. ID Lattes: 1766561802446077.

⁴ Docente na Engenharia Civil/DACOC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: bisconsini@utfpr.edu.br. ID Lattes: 1128368580695880.



INTRODUÇÃO

O levantamento sobre a qualidade de estruturas cicloviárias urbanas pode ser feito de forma objetiva ou subjetiva. A forma objetiva se dá pelo levantamento das acelerações verticais transmitidas pela bicicleta ao usuário. Por outro lado, é possível obter dados subjetivos por meio da aplicação de questionários aos usuários do pavimento.

Trabalhos similares, como o de Cafiso et. al. (2022) não notaram correlação entre parâmetros de vibração de bicicletas e resultados semelhantes coletados em carros. Desse modo, faz-se necessário a busca de índices de conforto que melhores se adequam às bicicletas. Nesse sentido, Bíl, Andrášik e Kubeček (2015) notaram forte correlação entre resultados obtidos por meio de questionários e valores de aceleração vertical obtidos com o uso de acelerômetros. Desse modo, o atual trabalho tem como objetivo investigar o levantamento de acelerações verticais em bicicletas por meio de *smartphones* por meio da análise de amplitude e frequência dos sinais, tais como a correlação entre dados objetivos e subjetivos, com base nas normas ISO 5349-1 (2001) e NHO-10 (2012), que ainda são pouco utilizadas quando se trata de vibração no contexto cicloviário.

MÉTODO

Esta investigação foi realizada em conjunto o trabalho de mestrado de Bissoli (2022), realizado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá por um dos autores deste resumo, a partir dos dados coletados em pavimentos cicloviários localizados na cidade de Maringá-PR. Cabe citar que, enquanto este a pesquisa de mestrado teve como objetivo a coleta dos dados, ainda careciam análises mais completas em relação a estes, com o uso de normas, aplicações de filtros e comparação de dados objetivos com subjetivos. Tais análises foram realizados nesse trabalho.

Para possibilitar tais análises, foram levantados dados objetivos e subjetivos em três locais diferentes, sendo eles a Ciclofaixa da Avenida Pioneiro Alcício Arantes Campolina, a Ciclovia da Avenida Pedro Taques, e a Ciclovia da Avenida Gastão Vidigal, na cidade de Maringá-PR. Os dados objetivos (aceleração vertical e posição) foram obtidos por meio de cinco smartphones diferentes, sendo estes o Motorola Moto G5 Plus, o Samsung A7, o Motorola Moto One, o Xiaomi Redmi Note 8, e o Xiaomi Mi 9 SE. Além disso, para cada local, foram coletados dados nas velocidades de 12, 15 e 18 km/h. Cada um desses smartphones foi posicionado no guidão da bicicleta por meio de suporte veicular para smartphones com extremidades ajustáveis por sistema de rosca, de modo a diminuir vibrações causadas por ele. Nos smartphones, foi utilizado o aplicativo UTFPR-PB-USP, desenvolvido em projeto de extensão pelo Departamento Acadêmico de Informática (DAINF) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco.

Quanto aos dados subjetivos, estes forem obtidas por meio de pesquisa de opinião anônima sobre a percepção do conforto proporcionado pelos diferentes pavimentos cicloviários, de modo a classificar a vibração proporcionada pelo pavimento entre as classes não perceptível até muito perceptível. A partir dos dados coletados em Maringá-PR, deu-se continuidade à etapa de processamento de dados.

PROCESSAMENTO DOS DADOS



Após o levantamento de dados, cada uma das ciclovias foi dividida em dez subtrechos de tamanhos semelhantes, utilizando o programa Roadify desenvolvido por Monteiro (2023), variando conforme o comprimento total do trecho. Nestes, os dados pontuais foram unidos por meio da raiz do valor quadrático médio (RMS - Root Mean Square) das acelerações verticais.

Com os valores filtrados a partir de um filtro passa-alto do tipo Butterworth, de 0,5 Hz, calculou-se estatísticas descritivas para poder determinar a situação geral de cada um dos trechos envolvidos. Cabe citar que, apesar de vários smartphones terem sido utilizados para a obtenção dos dados, para essas estatísticas foram utilizados apenas os dados coletados por meio do smartphone Motorola One Fusion Plus, que foi tomado como controle, pois foi o único a gerar dados de aceleração vertical e coordenadas geográficas para todos os trechos. Além disso, foram coletados dados em diferentes velocidades, e cada uma delas gerou um conjunto de dados para cada local.

Em relação aos dados subjetivos, o número de ciclistas entrevistados foi de 37, 75 e 177 para as estruturas Campolina, Pedro Taques e Gastão Vidigal, respectivamente, sendo em grande maioria do sexo masculino e que utilizam o meio de transporte diariamente. Para possibilitar uma comparação numérica com os valores objetivos, estes foram convertidos para valores numéricos, com valores de 1 a 4, sendo 1 não perceptível e 4 muito perceptível.

A partir disso, a nota subjetiva final para cada estrutura foi definida como a média aritmética simples das notas obtidas, possibilitando assim correlacioná-las com os valores de RMS calculados a partir dos dados de smartphones.

ANÁLISE QUANTO ÀS NORMAS ISO 5349-1 (2001) E NHO-10

A ISO 5349-1 (2001) se trata de uma norma que dispõe métodos para análise de vibrações mão-braço. A NHO-10, por sua vez, é uma norma brasileira que, além de reafirmar a ISO 5349-1 como método de processamento dos dados, também define valores limite para a exposição humana a estas vibrações.

Para análises mais adequadas, a norma define um procedimento para ponderar as acelerações conforme a frequência em que ocorre, reduzindo acelerações cujas frequências são menos significativas à saúde humana. Todavia, o método faz uso de frequências contínuas para ponderação, o que não condiz com as vibrações geradas em uma bicicleta, uma vez que o sinal é composto por frequências variadas. Para contornar esse problema, foi criado um método para calcular uma frequência média principal, que será utilizada para o cálculo do filtro de ponderação.

Com o objetivo de determinar tais frequências, aplicou-se a transformada de Fourier sobre os sinais coletados. A partir dela, gerou-se uma lista de frequências e suas amplitudes. A frequência média foi calculada com o uso de tais amplitudes, sendo usada como peso para a determinação da frequência média ponderada, conforme a Equação 1.

$$f_m = \sum_{i=1}^n f_i \frac{a_j}{\sum_{i=1}^j a_j} \quad (1)$$

Onde:

f_m = frequência ponderada média (Hz);

f_i = cada uma das frequências presentes no sinal (Hz);



$a_{i/j}$ = amplitude relativa à frequência i ;

Após a ponderação, aplicou-se a norma ISO 5349-1 (2001) para obtenção de uma frequência relativa a 8 horas, denominada A(8) e sua respectiva classificação qualitativa referente ao nível de desconforto gerado ao usuário. A partir desta informação, também foi simulado o uso de cada estrutura cicloviária por períodos maiores.

RESULTADOS

A partir das dez divisões para cada conjunto de dados obtido, foram geradas estatísticas para obtenção da situação geral das estruturas levantadas. Estes valores estão presentes na Tabela 1. Nota-se maiores amplitudes de aceleração na Ciclovia da Avenida Pedro Taques, enquanto nas avenidas Campolina e Gastão Vidigal os valores obtidos foram menores.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas em relação ao RMS

Local	Estatística	Velocidade de aquisição (km/h)		
		12	15	18
Campolina	Mínimo (m/s^2)	1,959	2,211	2,582
	Máximo (m/s^2)	4,235	4,497	6,905
	Média (m/s^2)	2,623	3,011	3,814
	Desvio padrão (m/s^2)	0,722	0,818	1,327
Pedro Taques	Mínimo (m/s^2)	5,747	6,644	9,125
	Máximo (m/s^2)	7,901	10,592	16,954
	Média (m/s^2)	6,558	8,572	12,236
	Desvio padrão (m/s^2)	0,639	1,101	2,572
Gastão Vidigal	Mínimo (m/s^2)	2,513	3,007	4,414
	Máximo (m/s^2)	4,472	5,025	6,788
	Média (m/s^2)	3,259	4,209	5,563
	Desvio padrão (m/s^2)	0,621	0,649	0,854

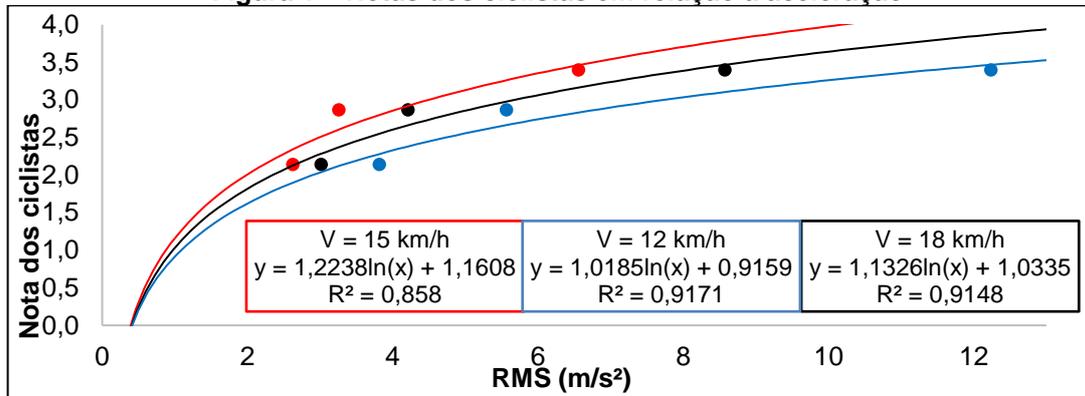
Fonte: elaborado pelos autores (2023).

RELAÇÃO ENTRE AS NOTAS DOS CICLISTAS E A ACELERAÇÃO VERTICAL

A partir dos dados coletados com ciclistas em relação ao uso das ciclovias, foi possível relacioná-las com os valores médios de RMS para cada trecho. Na Figura 1 são apresentados os modelos de predição da nota dos ciclistas com base no RMS das acelerações, com base em funções logarítmicas, uma vez que estas obtiveram coeficientes de determinação (R^2) mais elevados quando comparados àqueles obtidos com funções lineares.



Figura 1 – Notas dos ciclistas em relação à aceleração



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Observa-se que os modelos obtidos apresentaram valores similares de R² para as três velocidades avaliadas, explicando ao menos 85,8% da variância da variável dependente (nota dos usuários). Este resultado aponta que os dados de aceleração têm potencial para explicar a percepção de conforto dos usuários. Nesse sentido, recomenda-se a realização de levantamento de dados para a obtenção de uma amostra mais abrangente para aumentar a significância estatística dos modelos obtidos.

CLASSIFICAÇÃO EM RELAÇÃO ÀS NORMAS ISO 5349-1 E NHO-10

Para a análise dos dados de acordo com as normas ISO 5349-1 e NHO-10, foi considerado o trecho inteiro, a velocidade de 15 km/h (intermediária) e os dados do Motorola One Fusion Plus. Além da análise do período de 8 horas de exposição (padrão apontado na norma), foram feitas simulações de exposição de 1 e 2 horas, considerando-se valores também usuais para viagens de bicicleta (Tabela 2). Os resultados desta análise apontam que as vibrações mão-braço não geraram desconforto relevante aos usuários nos trechos avaliados.

Tabela 2 – Valores de A(8) de acordo com a ISO 5349-1

Local	Frequência média ponderada (Hz)	Filtro Hw	A(8) (m/s ²)	A(8) (m/s ²) – relativo a 1 h	A(8) (m/s ²) – relativo a 2 h
Campolina	39,2	0,32	0,08	0,25	0,35
Pedro Taques	52,1	0,25	0,24	0,50	0,71
Gastão Vidigal	34,8	0,35	0,17	0,37	0,52

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

CONCLUSÕES

Após as análises realizadas, observa-se que smartphones podem servir como dispositivos úteis para a avaliação do conforto vibracional de pavimentos cicloviários. Os modelos de predição da nota dos usuários a partir de dados de smartphones resultaram



em R^2 acima de 85,6. A variação da velocidade explicou ao menos 96% da variação das acelerações, entretanto, os modelos parecem depender das características da via avaliada. Estudos futuros poderão indicar correlações entre determinadas características dos usuários questionados, tais como o gênero e faixa etária, com os índices de conforto obtidos.

Além disso, o processamento de acordo com a ISO 5349-1 demonstrou que, no tocante à saúde do ocupante, não se esperam danos provenientes de vibrações mão-braço nos trechos avaliados, mesmo em utilizações prolongadas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Iniciação Científica da UTFPR pela possibilidade do desenvolvimento da pesquisa, e ao Igo Monteiro, desenvolvedor do software Roadify, pela disponibilização do aplicativo.

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>. Acesso em: 27 out. 2023.

BISSOLI, João Pedro. Considerações sobre vibrações em pavimentos cicloviários a partir de dados de smartphones. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2022.

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>. Acesso em: 27 out. 2023.

FUNDACENTRO. NHO-10: Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços. São Paulo: Fundacentro, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 5349-1: Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. [S.L.]: Iso, 2001.

MONTEIRO, Igo Brasil. 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.