

A IMPORTÂNCIA DA CALIBRAÇÃO PARA APLICATIVOS DE SMARTPHONE NA MEDIÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Fernanda Silva Moreira

Centro Universitário Christus

José Wémenson Rabelo Chaves

Faculdade Cisne de Quixadá

Lucas Cavalcante de Almeida

Centro Universitário Christus

RESUMO

O presente estudo realiza um comparativo entre os valores do Índice de Irregularidade Internacional (*Internacional Roughness Index* – IRI) obtido por meio de um perfilômetro a *laser* e um aplicativo para *smartphone*, RoadBump PRO®; em um trecho de pavimentação flexível de uma rodovia federal, buscando compreender se os dados obtidos por meio de aplicativos de *smartphone* podem equiparar-se aos resultados obtidos pelo perfilômetro a *laser*. Observou-se que existe uma divergência entre as classificações realizadas por ambos os medidores, no qual constatou-se que os valores obtidos pelo RoadBump PRO® apresentaram maior dispersão, inferindo em uma diferença significativa entre as médias dos valores de IRI coletado pelo perfilômetro a *laser*. Essa diferença pode ser atribuída ao processo de calibração no qual o aplicativo para *smartphone* foi submetido.

ABSTRACT

The present paper makes a comparison between the values of the International Roughness Index (IRI), applied through a laser profile and a smartphone application, RoadBump PRO®; in a flexible paving process on a federal highway, seeking to understand the data obtained through smartphone applications can match the results obtained by the laser profilometer. Note that there is a divergence between the participants who use the meters, but not those who evaluate using RoadBump PRO®, which have greater dispersion, inferring a significant difference between the IRI data collected by the laser profile. This difference can be attributed to the calibration process in which the smartphone application was submitted.

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é o modo mais utilizado no Brasil para escoar mercadorias, sendo responsável por cerca 61% do transporte de produtos e aproximadamente, 95% dos passageiros CNT (2019). Contudo, observa-se que as rodovias brasileiras possuem elevado grau de deterioração, principalmente no revestimento do pavimento, apresentando inúmeros defeitos, como trincas, panelas e afundamentos, demonstrando a necessidade de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) eficiente.

Nesse contexto, é importante mencionar o Índice de Irregularidade Internacional (*Internacional Roughness Index* - IRI), o qual representa um importante indicador para os pavimentos rodoviários, pois mensura a sua qualidade funcional de um pavimento, servindo como parâmetro para a alocação de recursos. Vale ressaltar que esse índice se relaciona diretamente com o estado de degradação da via (BERNUCCI *et al.*, 2010; BIDGOLI *et al.*, 2019).

Pawara *et al.* (2018) apontam que o IRI é um dos indicadores mais utilizados em todo o mundo. Ele consiste em um parâmetro estatístico que mensura os desvios da superfície do pavimento, em m/km ou mm/m, em relação à superfície de projeto, o qual pode ser medido por meio de diversos equipamentos, incluindo aplicativos para *smartphones*, conforme afirmam Bisconsini (2016) e Almeida *et al.* (2018), sendo uma prática comum em diversos países, mas ainda pouco difundida no Brasil.

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo realizar um estudo comparativo entre os

valores de IRI obtidos por meio de dois equipamentos, o perfilômetro a *laser* e o *smartphone* munido do aplicativo RoadBump PRO® para um trecho de aproximadamente de 50 km em pavimento flexível, apresentando dados de irregularidade longitudinal por ambos os medidores de modo a avaliar se as informações oriundas do RoadBump PRO® equiparam-se aos dados coletados pelo perfilômetro a laser.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A análise da superfície de um pavimento é um dos principais parâmetros para qualificar o desempenho de uma rodovia, pois afeta diretamente a serventia da via (ZHAO *et al.*, 2018; BIDGOLI *et al.*, 2019). Nesse contexto, a realização de estudos e o desenvolvimento de equipamentos para avaliação de pavimentos é uma temática que vem sendo debatida desde meados do século 20, demonstrando a importância do tema ao Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP). A Figura 1 apresenta uma visão da evolução desse tema ao longo dos séculos XX e XXI.



Figura 1: Histórico da evolução da avaliação de irregularidades longitudinal (Adaptado de Hveem, 1960; Bisconsini, 2016; Almeida *et al.*, 2018).

Segundo o DNIT (2006), existem vários índices que classificam as condições de superfície do pavimento; contudo, mais frequentemente, utiliza-se o Índice de Irregularidade Internacional (*International Roughness Index* - IRI). De acordo com Bernucci *et al.* (2010), o IRI é um índice estatístico, normalmente expresso em m/km, que quantifica os desvio da superfície em relação a um plano de referência, e tem sido amplamente utilizado como ferramenta de controle de obras e aceitação de serviços rodoviários em diversos países, como Brasil, Suécia e Japão.

O IRI é uma medida global utilizada para aferição da irregularidade longitudinal do pavimento, relacionando-se com sua idade, tráfego, clima e manutenções realizadas, mostrando que o aumento de deterioração da via tende a aumentar o IRI, indicando um decréscimo da serventia do pavimento e podendo ser mensurado por meio de diferentes equipamentos (MAZARI e RODRIQUEZ, 2016). Em relação aos equipamentos, Bernucci *et al.* (2010) dividem os aparelhos para a medição das irregularidades das vias em duas categorias, direta e indireta, as quais são subdivididas em quatro classes, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos aparelhos medidores da irregularidade longitudinal (Adaptado de Bernucci *et al.*, 2010).

| Classificação | | Classes | | Exemplo de equipamentos ou método |
|---------------|---|---------|--|-----------------------------------|
| Direta | Avalia diretamente a rugosidade da via | I | Avalia a superfície por meio do contato direto com a via. Geralmente apresentam baixa produtividade. | Nível e mira. |
| | | II | Avalia a superfície da via sem tocar o pavimento. | Perfilômetro a laser |
| Indireta | Avalia indiretamente a superfície da via. | III | Correlaciona a resposta da suspensão veículo ao trafegar na via com a irregularidade da superfície. | Merlin |
| | | IV | Avaliação subjetiva da rodovia por um painel de avaliadores. | Painel de avaliadores |

De acordo com o DNIT (2006), a irregularidade longitudinal pode ser medida em diversas escalas padronizadas, em conformidade com o equipamento de medição então empregado. DNIT (2011), por sua vez, menciona o programa *Highway Development and Maintenance* (HDM-4) ao abordar a escala para classificação, em termo da qualidade do IRI. Contudo, o DNIT (2011) adota outra tabela como referência para a classificação do IRI. A Tabela 2 mostra a comparação entre HDM-4 e DNIT (2011) para os valores de IRI.

Tabela 2: Comparação entre HDM (4) e DNIT (2011) (Almeida *et al.*, 2018).

| Condições de Trafegabilidade | HDM-4 (m/km) | DNIT (2011) (m/km) |
|------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Boa | $IRI \leq 2,0$ | $IRI \leq 2,70$ |
| Regular | $2,0 < IRI \leq 4,0$ | $2,7 < IRI \leq 3,5$ |
| Ruim | $4,0 \leq IRI \leq 6,0$ | $3,5 < IRI \leq 5,5$ |
| Péssimo | $6,0 < IRI$ | $5,5 < IRI$ |

Zhao *et al.* (2018) apontam que embora a avaliação baseada em equipamentos da Classe II forneça dados mais acurados e precisos, sua utilização em rodovias em péssimas condições de trafegabilidade é quase impraticável devido a seu alto custo de aquisição e operação. Assim, a adoção de equipamentos da Classe III, que apresentam menores custos, vem se tornando uma alternativa para a avaliação da superfície do pavimento. Nesse contexto, a utilização de *smartphones* se destaca, pois, segundo Almeida *et al.* (2018), viabilizam levantamentos mais rápidos, com relativa acurácia e não apresentam interferência do operador.

2.1 Utilização de *Smartphones*

A constante modernização dos *smartphones* os transformou em equipamentos capazes de produzir informações abrangentes de monitoramento, em função de sua rede de sensores móveis e inteligentes (OZER e FENG, 2017). Segundo Alavi e Buttlar (2018), a utilização dos *smartphones* pode trazer diversas vantagens à Engenharia Civil, como o monitoramento de diferentes infraestruturas, gerando dados de fácil visualização e interpretação.

Para Bisconsini (2016), algumas pesquisas descrevem o uso de *smartphones* para avaliação funcional dos pavimentos, especificamente na determinação da irregularidade longitudinal, devido, sobretudo, ao seu baixo custo, fácil operação e produtividade. Ainda de acordo com Bisconsini (2016), quando o *smartphone* está acoplado em um veículo, é possível obter por meio do acelerômetro, os sinais de vibrações e acelerações verticais, de modo a correlacionar esses dados com o IRI. Além disso, pode quantificar as condições da superfície do pavimento, apesar do acelerômetro integrado aos *smartphones* não funcionarem como perfilômetros, em

razão de não medirem diretamente os deslocamentos entre a carroceria e o eixo traseiro.

No âmbito da Engenharia Rodoviária, um estudo realizado no estado do Ceará por Almeida *et al.* (2018) revelou que a sua utilização para classificar a condição de rolamento das rodovias avaliadas eram próximas ao estabelecido pelos órgãos competentes, como o DNIT. Isso, pode demonstrar, a eficácia na utilização desse tipo de medição, fornecendo dados acurados ao SGP.

Por sua vez, Douangphachanh e Oneyrna (2014) afirmam que uma das desvantagens da utilização dos *smartphones* para avaliação funcional, é que ele precisa ser fixado em um suporte especial no para-brisa do veículo, e são necessárias diversas calibrações em diferentes velocidades operacionais e condições de pavimentação, chamada calibração por correlação para o aparelho operar com precisão. Devido a esse processo, os valores coletados por um equipamento do tipo resposta, especificamente o *smartphone*, ainda existem dúvidas acerca da qualidade e a forma de aplicação dos sinais medidos por este medidor (BISCONSINI *et al.*, 2016)

2.2 Perfilômetro a Laser

O perfilômetro a *laser* é um equipamento destinado à medida do perfil longitudinal de um pavimento, que possibilita a obtenção de dados com maior precisão (MATTOS, 2014). Esse equipamento é composto por uma unidade de transdutores (uma barra), equipada com sensores a *laser* e componente inercial (acelerômetro medidor da aceleração vertical), gerenciado por meio de um sistema de microprocessador, que coordena os dados coletados e envia a um computador portátil (BARELLA, 2008).

De acordo com Mattos (2014), o funcionamento desse equipamento consiste na leitura simultânea do deslocamento longitudinal, distância entre os sensores e do pavimento e aceleração vertical, com o veículo em movimento, preferencial na velocidade da via, para posterior análise dos índices de irregularidade, conforme ilustra a Figura 2. Segundo a ASTM (1996), este tipo de equipamento possui várias vantagens, como possibilidade de trafegar a velocidade normal da rodovia, utilização em períodos noturnos ou diurnos, sendo capaz de realizar uma aquisição de dados a uma frequência de aproximadamente 4.000 (pontos/segundos).

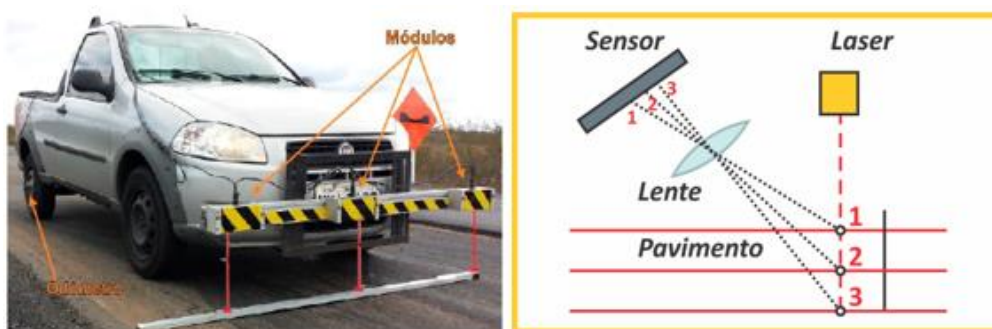


Figura 2: Funcionamento dos sensores no perfilômetro a *laser* (Barella, 2008; Oliveira e Albuquerque, 2017).

A calibração do equipamento perfilômetros a *laser* é aferido por meio de comparação com o método de nível e mira (HANSON *et al.*, 2014). Diferentemente de medidores de irregularidade do tipo resposta (*smartphones*), que precisam de diversas bases de calibração e de calibrações

a diversas velocidades, um perfilômetro a *laser* dispensa esse trabalho (SEVERO *et al.*, 2004).

Pesquisas realizadas por Forslöf (2013), Hanson *et al.*, (2014) e Douangphachanh e Oneyama (2013), mostraram resultados satisfatórios de correlações positivas de índice de irregularidade obtidos por meio de perfilômetros a *laser* com outros equipamentos, como *smartphones*, com coeficientes de determinação (R^2) em torno de 0,70, em alguns casos. Um exemplo dessa aplicação foi o aplicativo *SmartIRI*, que utilizou valores de RMS para correlacionar com medições realizadas com o perfilômetro a *laser* (ALMEIDA, 2018).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Para fins de comparação entre os valores de IRI oriundos de dois equipamentos, perfilômetro a *laser* e *smartphone*, de diferentes classes, realizaram-se avaliações em quatro trechos, localizado numa determinada rodovia federal. O trabalho delimita-se ao estudo comparativo de valores de irregularidade longitudinal medidos pelo aplicativo RoadBump Pro® e por um Perfilômetro a *laser*.

Os trechos em análise são executados em pavimento flexível, com pista dupla e três faixas de rolamentos em cada sentido após ampliações realizadas pela concessionária que administra. No total, foi avaliado uma extensão de, aproximadamente, 50 km de rodovia, dividido em segmentos de 100 m.

A obtenção dos valores de IRI em m/km foi realizada, por meio da utilização do equipamento perfilômetro *laser* (composto por quatro sensores *laser*, com distâncias de 55, 80, 160 e 215 cm) e do aplicativo para *smartphone* (da marca Xiaomi, modelo MI 9) RoadBump PRO®. Os dois medidores foram acoplados simultaneamente em veículo de passeio da marca Hyundai, modelo HB20, motor 1.6 Premium, ano de fabricação 2015 e pneus calibrados em 32 psi, a uma velocidade média de 80 km/h.

Destaca-se que o *smartphone* foi fixado no para-brisa do veículo por meio de um suporte específico, buscando mitigar vibrações excessivas, pois como esse aparelho é do tipo resposta, tal ocorrência poderia prejudicar a acurácia dos dados, as quais dependem da reação da suspensão do veículo ao trafegar na via. O suporte adotado foi o *Vehicle Dock*, da Samsung, seguindo as recomendações de Forslöf e Jones (2015).

Finalizada a coleta de dados de campo, o aplicativo RoadBump Pro® forneceu uma planilha com os dados de IRI atribuídos aos perfis da rodovia, georreferenciado. Por sua vez, o perfilômetro a *laser* forneceu um arquivo para obtenção dos perfis da via em um *software* específico da fabricante, determinados os perfis, os dados foram novamente processados para determinação do IRI nos segmentos ensaiados.

Os valores de IRI oriundos dos medidores foram tratados estatisticamente no *software* Minitab. Para quantificação da condição de trafegabilidade dos valores de IRI obtidos em ambos os medidores, utilizou-se a escala de classificação da condição de irregularidade longitudinal indicada pelo DNIT (2011), pois o RoadBump PRO® não possui classificação própria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando o comportamento dos dados obtidos pelo o aplicativo para *smartphone* RoadBump PRO® e o perfilômetro a *laser* nos trechos avaliados, foram gerados gráficos de linhas para

análises visuais do comportamento da irregularidade longitudinal por meio do IRI, conforme apresentado na Figura 3. Percebe-se que os dados de IRI diferiram em valores durante todo o trecho. Constatou-se, ainda, que os valores de IRI obtidos pelo RoadBump PRO® permaneceram em sua maioria (98,7%) acima dos coletados pelo perfilômetro a *laser*, porém seguindo a mesma tendência.

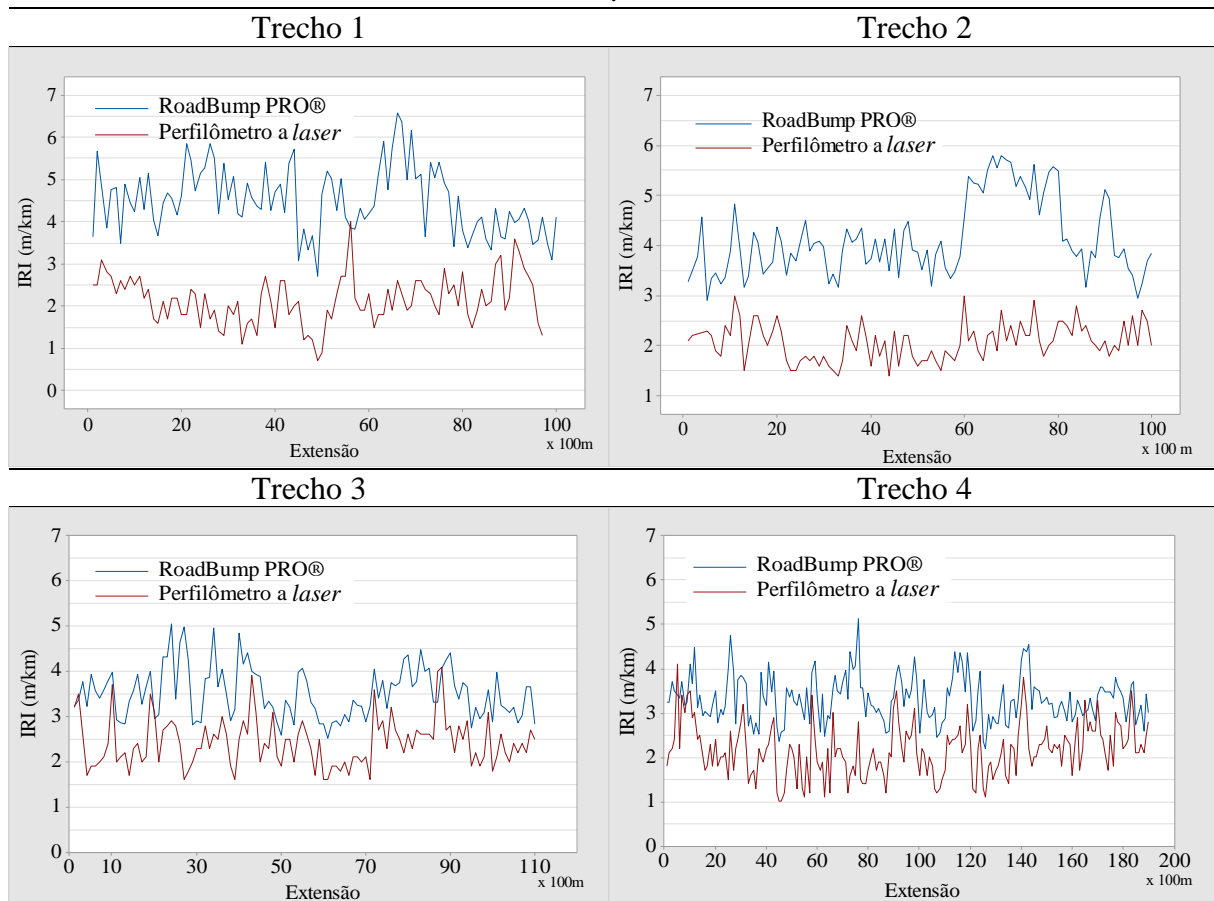


Figura 3: Valores de IRI por trecho analisado

Ao relacionar os dados coletados com a condição de trafegabilidade, verificou-se que nos trechos 1 e 2, 83,5% dos valores fornecidos pelo RoadBump PRO® encontram-se acima de 3,5 m/km, sendo classificados com o conceito regular (74,5%) ou péssimo (9,0%). Por sua vez, o perfilômetro a *laser* aferiu em 97,2% dos segmentos inspecionados, valores abaixo de 3,5 m/km, inserindo-os no conceito bom. Com objetivo de realizar a existência de correlação entre os dois equipamentos medidores, calculou-se o coeficiente de determinação (R^2), conforme apresenta a Figura 4.

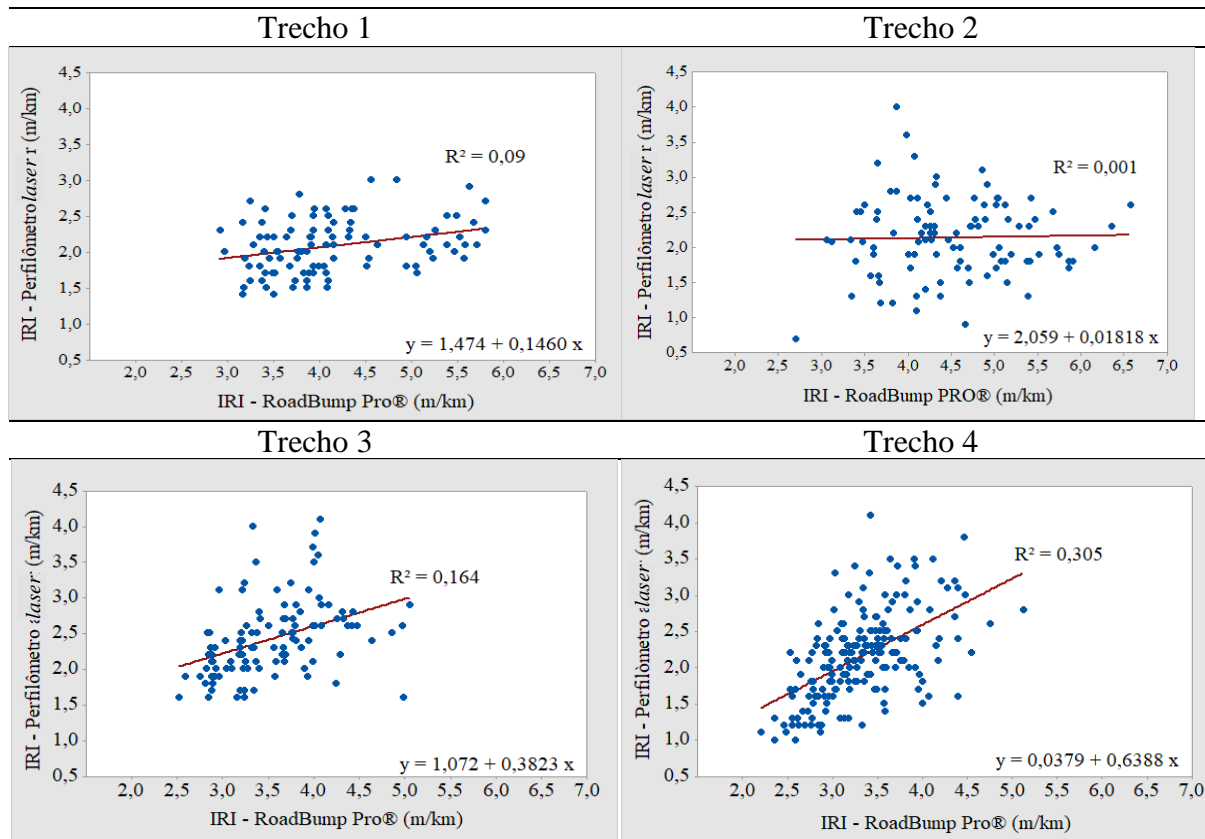


Figura 4: Gráfico de dispersão entre o perfilômetro a *laser* e RoadBump Pro®

Constatou-se que existe uma baixa correlação em todos os trechos entre os equipamentos, possivelmente, devido ao fato da inexistência de um fator de calibração para o RoadBump PRO®, pois todo sistema Classe III necessita calibração para se adaptar aos diversos tipos de características de revestimentos asfálticos e distintas configurações das suspensões dos veículos. Ademais, seguindo as análises estatísticas, desenvolveu-se um gráfico do tipo *BoxPlot* para avaliar a distribuição e os possíveis *outliers* dos valores coletados por trecho, segundo ilustra a Figura 5.

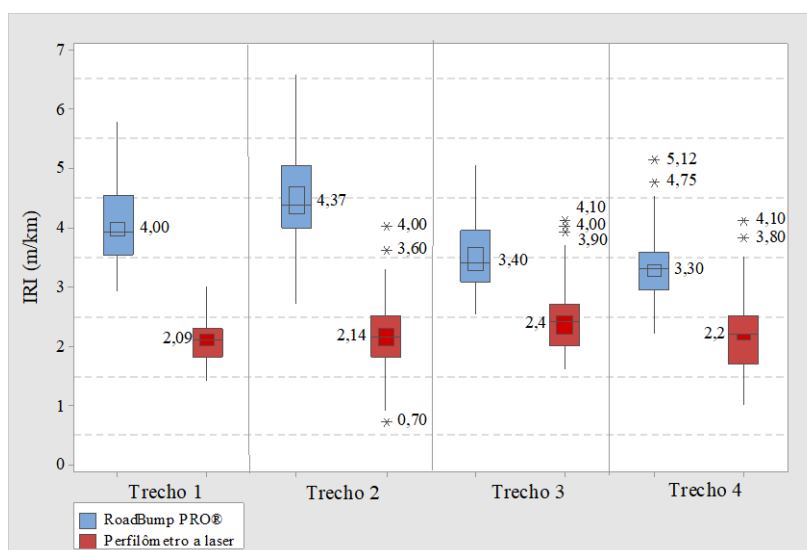


Figura 5: *BoxPlot* dos valores de IRI por trecho

Verificou-se que no RoadBump PRO®, 81,6% dos valores (desconsiderando os *outliers*) de IRI estão entre 2,80 e 5,10 m/km, enquanto, que no Perfilômetro a *laser*, 93,2% dos valores estão entre 1,70 e 2,50 m/km. Comparando a variabilidade dos dados coletados, constatou que no RoadBump PRO® existe uma maior dispersão, apresentando um maior tamanho do *BoxPlot*, em três dos quatro trechos analisados.

Observou-se, ainda, que existem alguns *outliers*, em especial, para os dados coletados nos trechos 2,3 e 4, pelo o perfilômetro a *laser*. Contudo, tal fato pode ser relacionado à existência de algum tipo de defeito, como buracos ou remendos, na superfície do segmento analisado, provocando esse pico de valor. Por sua vez, o valor de 0,70 m/km pode ser muito baixo, provavelmente, uma falha de leitura do equipamento.

4.1 Análise estatística descritiva dos dados coletados

Analisando estatisticamente os valores de IRI fornecidos pelos medidores, verificou-se que o RoadBump PRO® possui menor coeficiente de variação entre os trechos, com as maiores médias gerais em todas as medições efetuadas em relação ao perfilômetro a *laser*. A Tabela 3 mostra a análise estatística descritiva do IRI para cada trecho.

Tabela 3: Análise estatística descritiva das medições realizadas

| Trecho | Trecho 1 | | Trecho 2 | | Trecho 3 | | Trecho 4 | |
|------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|
| Equipamento | Road Bump PRO® | Perfilômetro a <i>laser</i> | Road Bump PRO® | Perfilômetro a <i>laser</i> | Road Bump PRO® | Perfilômetro a <i>laser</i> | Road Bump PRO® | Perfilômetro a <i>laser</i> |
| Média (m/km) | 4,13 | 2,08 | 4,50 | 2,14 | 3,53 | 2,42 | 3,32 | 2,16 |
| Desvio Padrão (m/km) | 0,86 | 0,37 | 0,78 | 0,57 | 0,56 | 0,53 | 0,52 | 0,60 |
| Coefficiente de Variação (%) | 18,23 | 17,33 | 17,33 | 26,64 | 15,86 | 21,90 | 15,66 | 27,59 |
| Maior Valor (m/km) | 5,79 | 3,00 | 6,57 | 4,00 | 5,05 | 4,10 | 5,12 | 4,10 |
| Menor Valor (m/km) | 2,91 | 1,40 | 2,70 | 0,70 | 2,52 | 1,60 | 2,20 | 1,00 |

De modo a comparar se existe diferença significativa entre as médias, realizou-se o teste t pareado (teste de hipótese), pois os trechos inspecionados são os mesmos, alterando o tipo de medidor empregado. Para o dado de entrada da hipótese nula, aferiu-se a igualdade entre as médias fornecidas e como hipótese alternativa a diferença entre as médias.

No teste de hipótese efetuado, verificou-se que nas quatro amostragens os valores de p-valor foram menores que o nível de significância de 0,05. Desse modo, rejeita-se a hipótese nula, constatando que existe diferença significativa entre as médias dos valores de IRI coletados em um mesmo trecho pelos medidores RoadBump Pro® e perfilômetro a *laser*.

4.2 Análise qualitativa dos dados coletados

Para fins de análise qualitativa entre as categorias de classificação de trafegabilidade (boa, regular, ruim e péssimo), conforme a escala adotada por DNIT (2011), em termos de IRI, apresentam-se na Tabela 4, as porcentagens relativas dos valores obtidos nos trechos inspecionados.

Tabela 4 – Resumo qualitativo dos valores de IRI por trecho

| Trecho | Trecho 1 | | Trecho 2 | | Trecho 3 | | Trecho 4 | |
|---------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|
| | Road Bump PRO® | Perfilômetro a laser | Road Bump PRO® | Perfilômetro a laser | Road Bump PRO® | Perfilômetro a laser | Road Bump PRO® | Perfilômetro a laser |
| Boa | 0,00 | 95,9 | 0,00 | 89,69 | 0,00 | 77,06 | 8,42 | 84,21 |
| Regular | 8,00 | 4,08 | 50,91 | 9,28 | 50,91 | 19,27 | 50,91 | 14,74 |
| Ruim | 23,00 | 0,00 | 49,09 | 1,03 | 49,09 | 3,67 | 49,09 | 1,05 |
| Péssimo | 69,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Observou-se que existe uma divergência entre as classificações realizadas pelos dois medidores, uma vez que 86,2% dos segmentos avaliados pelo perfilômetro a laser foram classificados como boa e no RoadBump PRO® 60,80% foram atribuídos o conceito regular ou ruim. Evidencia-se que essa diferença entre as classificações fica mais explícito quando se compara os segmentos do trecho 1, pois o RoadBump Pro® designou 69% para péssimo e 23% para ruim, uma vez que o perfilômetro a laser classificou 95,9% dos segmentos analisados como boa.

5. CONCLUSÃO

A análise dos dados coletados no presente estudo mostrou valores distintos entre os medidores utilizados, pois os dados de IRI oriundos do aplicativo RoadBump PRO® apresentaram valores entre 50% a 70% maiores que os coletados pelo o Perfilômetro a laser, indicando piores condições de trafegabilidade. Nesse contexto, observou-se uma diferença significativa de classificações entre os medidores, podendo ter como causa a forma de calibração do RoadBump PRO®, haja vista que o mesmo foi desenvolvido e calibrado utilizando base de dados fora do âmbito nacional.

Conclui-se que a diferença identificada entre os dois medidores não invalida a utilização do aplicativo para *smartphone* RoadBump PRO®, sendo necessário calibrar o equipamento de acordo com as condições das rodovias brasileiras. Ademais, é importante destacar que a utilização de *smartphone* para a obtenção dos valores de IRI, mostrou-se uma alternativa de baixo custo, fácil manuseio e alta produtividade. Contudo, é importante salientar que o perfilômetro a laser apresentou dados com maior acurácia. Assim, ressalta-se a necessidade de aprofundar estudos para a utilização de novas tecnologias, fitando torná-las viáveis em comparação com as soluções tradicionalmente utilizadas, que usualmente apresentam elevado custo, buscando a modernização e o incremento de produtividade à Infraestrutura de Transportes.

Assim, sugere-se como pesquisas futuras o aprimoramento dos aplicativos para *smartphones* utilizando o método de análise de dados *Machine Learning*. Sua adoção visa adequar a aplicação a base de dados do local que será utilizada, permitindo que seja calibrado de acordo com a realidade do local que será utilizada. Além disso, objetiva-se que o programa consiga gerar previsões, com base na série de dados histórico dados como *input* no sistema, auxiliando na tomada de decisões no SGP.

Com isso, objetiva-se que a utilização de aplicativos para *smartphones* tornem-se viáveis em comparação com as soluções tradicionalmente utilizadas, que usualmente apresentam elevado custo, buscando a modernização e o incremento de produtividade à Infraestrutura de Transportes.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Heber Oliveira pela orientação e correção do artigo em pauta, mas que não pode estar como autor devido restrições impostas pela ANPET.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alavi, A. H.; Buttlar, W. G. (2018) *An overview of smartphone technology for citizen-centered, real-time and scalable civil infrastructure monitoring. Future Generation Computer Systems*, v. 93, p. 651-672. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.10.059>. Acesso em 28 de maio de 2020.
- Almeida, L. C.; Oliveira, F. H.; Ramos, S. P. (2018) Estudo da condição de superfícies em rodovias por meio do uso de aplicativo para smartphone. *Revista Transportes*, v. 25, n. 2, p. 70-83.
- ASTM (1996) ASTM E950-98 - Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Establishes Inertial Profiling Reference. American Society of Testing and Materials, Estados Unidos.
- Barella, R. M. (2008) *Contribuição para avaliação da irregularidade longitudinal de pavimento com perfilômetros inerciais*. 362 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Bernucci, L. B., Mota, L. M. G., Cerati, J. A. P. e Soares, J. B. (2010) *Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros*. Petrobras. Abeda. Rio de Janeiro, RJ.
- Bidgoli, M. R.; Golrooa, A.; Nadjarb, H. S.; Rashidabadb, A. G.; Ganjia, M. R. (2019) Road roughness measurement using a cost-effective sensor-based monitoring system. *Automation in Construction*, v. 104, n. 1, p. 140-152.
- Bisconsini, D. R. (2016) *Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por smartphones*. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Escola e Engenharia de São Carlos, São Carlos.
- Bisconsini, D. R., Nunez, J. Y. M., Nicoletti, R., Fernandes Júnior, J. L. (2016) Considerações sobre o uso de smartphones para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos. *Anais eletrônicos do XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*, p. 356-366, Rio de Janeiro.
- CNT (2019) Relatório Gerencial: Pesquisa CNT de Rodovias 2019. 22. ed. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>>. Acesso em: 19 de maio de 2020.
- DNIT (2006) IPR 720 - *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro
- DNIT (2011) IPR 745 - *Manual de Gerência de Pavimentos*. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro.
- Douangphachanh, V. e Oneyrna, H. (2013) Using smartphones to estimate road pavement condition. *Internacional Symposium for Next Generation Infrastructure*. Wollongong, Australia. Disponível em: <http://ro.uow.edu.au/cgi/viewscontent.cgi?article=1017&contexto-isngi2013>. Acesso em 03 de maio de 2020.
- Douangphachanh, V. e Oneyrna, H. (2014) *Estimation of road roughness condition from smartphones under realistic settings*. *Proceedings of the 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST): EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, p. 433-439.
- Forslöf, L. (2013) Roadroid: continuous road condition monitoring with smart phones. *World Meeting and Exhibition, Riyadh, Saudi Arabia*.
- Forslöf, L., Jones, H. (2015) *Roadroid: Continuous road condition monitoring with smart phones*. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, v. 9, n. 4, p. 485-496.
- Hanson, T.; Cameron, C.; Hilderbrand, E. (2014) Evaluation of low-cost consumer-level mobile phone technology of measuring internacional roughness index (IRI) values. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 4, p 819-827.
- Hveem, F. N. (1960) Devices for Recording and Evaluating Pavement Roughness. *Highway Research Board Bulletin*. Disponível em: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=104915>. Acesso em 19 de maio de 2020.
- Mattos, J. R. G. (2014) *Monitoramento e análise do desempenho de pavimentos flexíveis da ampliação da rodovia BR-290/RS – A implantação do Projeto Rede Temática de Asfalto no Rio Grande do Sul*. 250 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Mazari, M.; Rodrigues, D. D. P. (2016) Prediction of pavement roughness using a hybrid gene expression programming-neural network technique. *Journal of traffic and transportation engineering*, v. 3, p. 448-

455.

- Oliveira, R. F. S.; Albuquerque, F. S. (2017) Avaliação de Perfil Longitudinal de Pavimento de Concreto de Cimento Portland com Perfilômetro Inercial a Laser. *Transportes*, v. 25, n. 1, p. 82-92.
- Ozer, E. Feng, M. (2014) Direction-sensitive smart monitoring of structures using heterogeneous smartphone sensor data and coordinate system transformation. *Smart Materials and Structures*, v. 26, n 4, p. 1-27. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-665X/aa6298/meta>. Acesso em 15 de abril de 2020.
- Pawara, P. R.; Mathewb, A. T.; Saracf, M. R. (2018) IRI (International Roughness Index): An Indicator Of Vehicle Response. *Materials Today: Proceedings*. vol. 5, p. 11738-11750.
- Severo, L. E. P., Ruwer, P., Klein, R. J., Barella, R. M., Massara, S., & Gonçalves, F. P. (2004). Utilização De Perfilômetro Laser para a Medida De Irregularidade Longitudinal e do Afundamento em Trilhas De Roda. *9º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária-9º Enacor*, Natal.
- Zhao, B.; Nagayama, T. Xue, K. (2018) Road profile estimation, and its numerical and experimental validation, by smartphone measurement of the dynamic responses of an ordinary vehicle. *Journal of sound and vibration*, v. 457, n. 2, p. 92-117. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.05.015>. Acesso em: 28 de maio de 2020.

José Wémenson R. Chaves (wemensonrabelo@gmail.com)
Fernanda S. Moreira (engfernanda.smoreira@gmail.com)
Lucas C. de Almeida (lucascavalcante@det.ufc.br)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará