

## AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL EM PAVIMENTO FLEXÍVEL POR MEIO DO USO DE APLICATIVO PARA *SMARTPHONE*

**Eurico Marcelo Coqueiro Costa**

Universidade Paulista

### RESUMO

A avaliação da irregularidade longitudinal de rodovias pavimentadas configura uma necessidade atual do Brasil para fornecer dados adequados à tomada de decisão pelos agentes de gestão sobretudo no cenário público. Neste contexto, este artigo tem como objetivo realizar uma revisão a respeito do uso de aplicativos para a avaliação de irregularidades longitudinais e um levantamento de campo para analisar a condição de rolamento do pavimento flexível de três segmentos rodoviários de Belém, no estado do Pará. Portanto, foi utilizado um aplicativo para *smartphone* denominado SmartIRI, que determinou o *International Roughness Index* (IRI), no qual indicou baixo nível de irregularidade dos trechos estudados em comparação com os valores estabelecidos pelo DNIT. A Rodovia Augusto Montenegro obteve o maior valor médio, bem como identificou que as rotas possuíam em torno de 98% da sua superfície com um excelente ou bom estado de conforto ao rolamento.

### ABSTRACT

The assessment of the longitudinal irregularity of stretches of paved surfaces, states a current need in Brazil to provide adequate data for action by management agents, especially in the public scenario. In this context, this paper aims to perform a review regarding the use of applications in the evaluation of longitudinal irregularities and conduct a field survey to analyze the condition of irregularities of the flexible pavement of three road segments of Belém, state of Pará. Therefore, we used a smartphone application called SmartIRI, which determined the International Roughness Index (IRI), indicating a low level of roughness of the studied sections, compared to the values established by DNIT. The Highway Augusto Montenegro had the highest average value, as well as it identified that the routes had around 98% of their surface area with an excellent or good state of ride comfort.

## 1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura de transportes, nos seus mais diversos modos, está intrinsecamente relacionada com o desenvolvimento econômico de um país. Constitui-se como um bem valioso, cuja manutenção é essencial para a continuidade do funcionamento do sistema logístico do país. Qualquer degradação desse patrimônio, sem a correção necessária, implica em aumentos significativos nos custos de operação. Portanto, identifica-se a necessidade do contínuo desenvolvimento dos sistemas de gerência, e para tal, a criação de ferramentas que assessorem a análise dos pavimentos resulta em diversos benefícios qualitativos e quantitativos (HAAS *et al.*, 2015).

Desta forma, avanços tecnológicos permitiram uma série de inovações que ampliaram a extensão de atividades que podem ser executadas, por exemplo, por meio do desenvolvimento de aplicativos para *smartphones*, que geralmente possuem incorporados um sistema de posicionamento global (GPS), sensores de movimento (acelerômetro, magnetômetro e barômetro), capazes de armazenar vídeos e fotos. Análises complexas, que antes eram realizadas somente por meio de tecnologia de alto custo, agora estão disponível de modo rápido e fácil. Na Engenharia Rodoviária, o uso dessas ferramentas vem sendo aplicado ao redor do mundo, com notáveis utilizações na América do Norte, Europa e Ásia (ASTARITA *et al.*, 2012; HANSON *et al.*, 2014; ISLAM *et al.*, 2014).

Os *smartphones* se apresentam como uma vantajosa plataforma, que vem ganhando reconhecimento no suporte para gerência de pavimentos, do qual pode se destacar principalmente o baixo custo de aquisição, apresentando resultados comparáveis com os equipamentos de alta precisão que medem diretamente o perfil dos pavimentos, como o Dipstick, perfilômetro do *Transportation Research Laboratory* (TRL) e perfilômetro Walking Profiler da *Australian Road*

*Research Board* (ARRB) (HANSON *et al.*, 2014). Esses equipamentos são enquadrados como métodos de medição de irregularidades de rodovias e são caros, além de utilizar uma análise de dados complexos que aumentam o tempo para fornecer os resultados. Em contrapartida, a tecnologia dos *smartphones* são objetivas, de fácil manuseio, portáteis e oferecem suporte para planejamentos, inventários, relatórios e projetos (FORSLOF, 2012).

Diante do crescimento de estudos com a utilização de aplicativos para avaliação de pavimentos ao redor do mundo, no Brasil existe uma carência de pesquisas nesse quesito. Adicionalmente, verifica-se no campo da gerência de pavimentos processos longos e dispendiosos, sem normalização técnica específica, com um número reduzido de utilização de novas tecnologias, e com escassez de recursos investidos no setor rodoviário. Assim, como indicado por Douangphachanh e Oneyama (2013), é importante o estudo da aplicação de aparelhos celulares para suporte à análise da irregularidade longitudinal dos pavimentos em países com orçamento e infraestrutura limitados, passando a fornecer informações necessárias com rapidez e baixo custo aos órgãos responsáveis.

Em vista da realidade do Brasil, onde existe uma escassez de análises das rodovias nacionais utilizando a tecnologia presente em *smartphones*, concebe-se, assim, a importância deste artigo na validação desta nova metodologia. O objetivo, portanto, é realizar uma revisão a respeito da irregularidade longitudinal e o uso de aplicativos para avaliação dos revestimentos flexíveis dos seguintes trechos rodoviários de Belém no estado do Pará: Rodovia Augusto Montenegro, Avenida João Paulo II e Avenida Independência, por meio do aplicativo SmartIRI, no qual serão coletados dados para a avaliação do conforto ao rolamento, expresso pelo Índice Internacional de Irregularidade (IRI).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A irregularidade superficial em rodovias pode surgir a partir de problemas estruturais ou por ação do tráfego e/ou clima. A ASTM (2012) conceitua a irregularidade longitudinal de rodovias como desvios em uma superfície do pavimento que afetam a dinâmica veicular, a qualidade da condução, as cargas dinâmicas e a drenagem.

O monitoramento da irregularidade longitudinal de pavimentos rodoviários se configura em um fator contínuo, que pode ser realizado por diversos dispositivos, e quantificado principalmente pelo cálculo do *International Roughness Index* - IRI, escolhido como o principal índice de irregularidade no *International Road Roughness Experiment*, realizado no Brasil, em 1982, e padronizado pelo Banco Mundial em 1986 (DNIT, 2011).

Segundo Sayers (1995), o IRI é definido como uma propriedade de um perfil longitudinal obtido a partir do percurso de um único segmento. Sayers (1995) afirma, ainda, que a precisão e relevância do índice é limitado pela capacidade de medição, que dependerá da qualidade do equipamento e da metodologia utilizada. Assim, de acordo com Karamihas e Sayers (1998), o IRI se tornou o primeiro índice amplamente utilizado internacionalmente, pois sua metodologia de análise poderia ser adaptada para qualquer dispositivo de medição de perfil, e poderia resumir as características de irregularidade que impactam na resposta do veículo.

Portanto, faz-se necessário o conhecimento a respeito dos dispositivos medidores de irregularidade longitudinal de pavimentos. Estes foram classificados por Gillespie *et al.* (1986) em 4 classes, tendo como base a capacidade de medir diretamente as irregularidades em um

determinado intervalo amostral. Assim, um mesmo equipamento poderá ser enquadrado em mais de uma classe, conforme se verifica na Tabela 1.

**Tabela 1 - Classificação segundo Gillespie *et al.* (1986).**

Classe	Exemplos de Equipamentos ou Medição
Classe 1 (Equipamentos de precisão que medem diretamente o perfil dos pavimentos)	-Nível e Mira; - <i>Dipstick</i> ; - z-250; - Perfilômetro do TRL; - Perfilômetro Walking Profiler da ARRB.
Classe 2 (Outros métodos perfilométricos)	- Perfilógrafos; - Equipamentos com sensores a laser; - Infravermelho ou ultrassom; - APL francês.
Classe 3 (Sistemas medidores do tipo resposta)	- Integrador de irregularidade longitudinal IPR/USP; - <i>Maysmeter</i> ; - <i>MERLIN</i> ; - <i>Riley</i> ; - TRL Bump integrator.
Classe 4 (Avaliações subjetivas)	- Painel de avaliadores.

## 2.1 Utilização de *smartphones* e sensores móveis na avaliação funcional dos pavimentos

Na última década foram identificados diversos pesquisadores que estudaram o uso de *smartphones* para a avaliação funcional dos pavimentos, principalmente para cálculo do IRI, no qual se destacou o baixo custo, portabilidade e fácil manuseio (ASTARITA *et al.*, 2012; ALEADELAT *et al.*, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2018; ZANG *et al.*, 2018). Estes dispositivos se apresentam como substitutos para os sensores que possuem valor elevado e a sua funcionalidade se difere dos sensores, pois não acumula os deslocamentos entre a carroceria e o eixo traseiro do veículo, mas mede as acelerações verticais.

Eriksson *et al.* (2008) desenvolveu um dos primeiros aplicativos utilizando os sensores de *smartphones*, o *Pothole Patrol*. O aplicativo capturava dados a partir da vibração do veículo e do GPS para avaliar as condições da superfície. Desse modo foi realizado um experimento na área urbana de Boston, em rotas de táxis, no qual em 90% dos dados gerados identificou-se anormalidades, como buracos e remendos nas rodovias que precisavam ser reparadas.

Mednis *et al.* (2011) utilizaram o acelerômetro para produzir dados e detectar defeitos em pavimentos, no qual foi desenvolvido algoritmos para a execução em diferentes *smartphones* com sistema operacional *Android*. Igualmente, Alessandrini *et al.* (2014) desenvolveu o SmartRoadSense, que coleta dados do acelerômetro triaxial e do GPS, que podem ser processados pelo dispositivo móvel, no qual a velocidade do veículo pode ser compensada em cada medição.

Em 2018 foi publicado um experimento, no Brasil, a partir do aplicativo *Roadroid*, desenvolvido na Suécia (FORSLÖF e JONES, 2015), que apresenta como base a análise de dados do acelerômetro, a velocidade de deslocamento do veículo e o intervalo de amostragem. O estudo foi realizado em rodovias estaduais e federais do estado do Ceará, em trechos pavimentados e não

pavimentados, onde foi possível observar a eficácia da utilização do aplicativo obtendo-se resultados satisfatórios e comparáveis aos de dispositivos de referência (ALMEIDA *et al*, 2018). No mesmo ano foi desenvolvido um aplicativo brasileiro utilizado em *smartphones* para a avaliação da irregularidade longitudinal, denominado SmartIRI.

## 2.2 O aplicativo SmartIRI

O SmartIRI foi desenvolvido pela Universidade Federal do Ceará (UFC), com o objetivo de realizar a coleta da condição de conforto ao rolamento do pavimento (com a obtenção do IRI). Para a sua utilização o *smartphone* é fixado no para-brisas do veículo, por meio de um suporte, e mede a aceleração vertical proveniente dos sensores do telefone, como acelerômetro, juntamente com os dados de GPS. Após a medição, os dados de aceleração vertical, velocidade e localização são enviados para a nuvem, onde são processados, tendo como resultado final valores de IRI. A classificação de irregularidade do aplicativo tem como base o *Highway Development Management* (HDM-4).

O HDM-4 é um sistema de modelos para avaliações na infraestrutura de transporte rodoviário, sendo o sucessor *Highway Design and Maintenance Standards Model* (HDM-III) desenvolvido pelo Banco Mundial. Esse modelo foi amplamente utilizado nas últimas décadas por agências de rodovias, consultores, departamentos de governo para analisar o viés econômico de investimentos em infraestrutura de rodovias, tendo sido obtido através de estudos colaborativos internacionais denominados de *International Study of Highway Development and Management* (ISOHDM) (JORGE e FERREIRA, 2012).

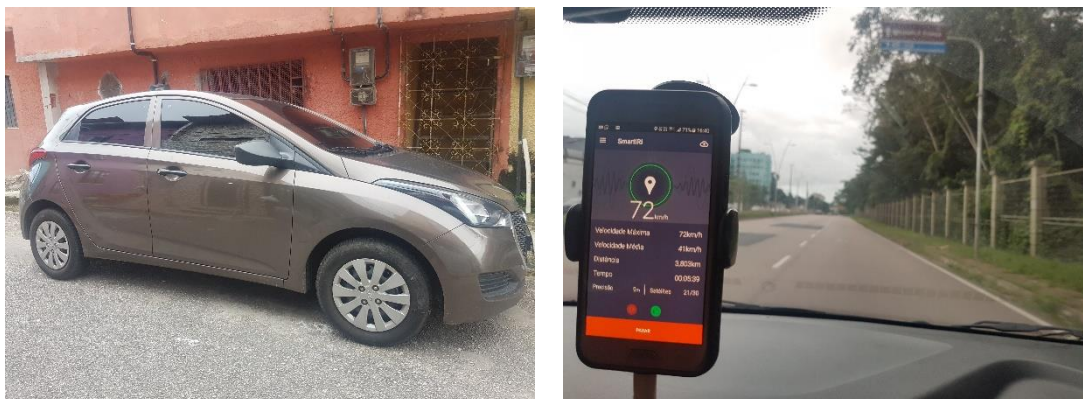
Segundo Almeida (2018), os resultados do SmartIRI comparados com outro aplicativo, o Roadlab, desenvolvido pelo Banco Mundial, possui correlação satisfatória de medição de irregularidade longitudinal (em análise estatística, não houve rejeição da H0, ou seja, as médias são similares), pelo Método de Nível e Mira, por medições do perfilômetro a laser e pela análise subjetiva por meio do Valor de Serventia Atual (VSA).

Desta forma Almeida (2018) afirma que, os resultados do SmartIRI possuem forte correlação entre as classes de medição, porém são distintos ao se considerar que as medições são influenciadas por diversos fatores como a taxa de aquisição de dados utilizada, da condição do pavimento, do algoritmo utilizado no cálculo dos deslocamentos, entre outros. Em destaque, identifica-se um alto grau de aceitabilidade para estimar os dados de irregularidade longitudinal em pavimentos rodoviários, tendo em vista o baixo custo de aquisição e operação dos dados, e ao que se faz referência ao tempo de aquisição de dados, o aplicativo apresentou desempenho superior quando comparado ao método de Nível e Mira e ao Valor de Serventia Atual (VSA).

## 3 METODOLOGIA

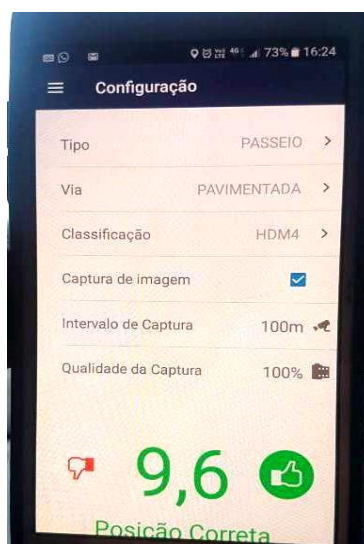
Para fins deste artigo, foram realizados levantamentos utilizando o aplicativo SmartIRI, a partir de um único *smartphone*, dos quais foram obtidos os valores do IRI e da classificação segundo o próprio aplicativo. O aparelho foi fixado no para-brisa de um veículo da marca HYUNDAI modelo HB20, cujo a velocidade média obtida foi de 53 km/h na Avenida Independência, 50 km/h na Avenida João Paulo II e de 44 km/h na Rodovia Augusto Montenegro. A determinação da velocidade se deu em função da condição da rodovia e da velocidade máxima permitida. O equipamento e o veículo utilizados são mostrados na Figura 1.





**Figura 1-** Veículo e Smartphone utilizado para o levantamento.

As configurações do aplicativo foram ajustadas para veículo do tipo passeio para rodovia pavimentada, com classificação HDM4 e permitindo a captura de imagens, no qual o intervalo de leitura é realizado a cada 100 m (Figura 2).



**Figura 2 –** Configuração do aplicativo.

### 3.1 Área de Estudo

Os trechos estão localizados na Região Metropolitana de Belém no estado do Pará. Caracterizam-se como as principais vias secundárias de entrada e saída do município, sendo rodovias estaduais e pavimentadas em revestimento flexível e totalizam cerca de 85 km de percurso, que serão descritas a seguir:

- a) Avenida Independência: sentido via Avenida Júlio Cesar (37,87 km);
- b) Avenida João Paulo II: Ida: sentido BR 316, Volta: sentido Avenida Ceará (20,88 km);
- c) Rodovia Augusto Montenegro: Ida: sentido Icoarací, Volta: sentido Avenida Almirante Barroso (25,98 km).

### 3.2 Classificação do IRI

Para a avaliação dos resultados do IRI que foram obtidos a partir do levantamento de campo deste artigo, foi utilizado o índice de classificação da condição de irregularidade longitudinal do DNIT

(2011) em comparação ao fornecido pelo SmartIRI, conforme a Tabela 2. Essa comparação irá indicar se o aplicativo poderá ser utilizado com eficiência pela gerência de rodovias para tomada de decisões.

**Tabela 2**– Classificação quanto às condições de irregularidade.

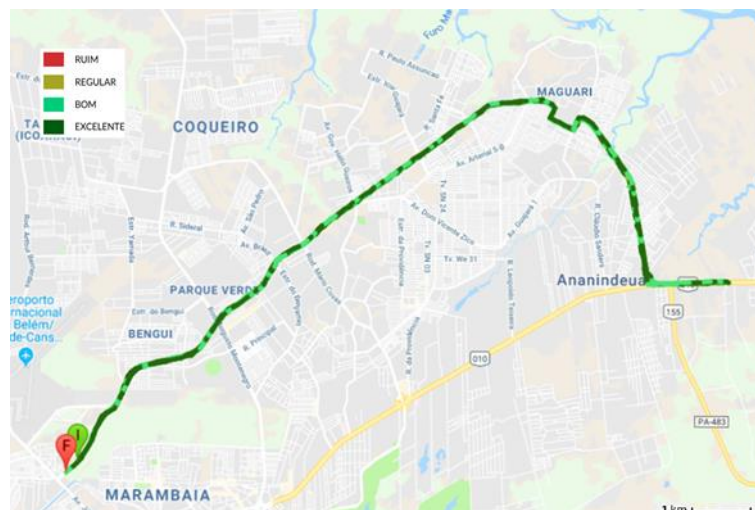
Condições de Irregularidade	DNIT, 2011 (m/km)	SmartIRI (m/km)
Ótima	$IRI \leq 2,0$	$0 < IRI < 2$
Boa	$2,0 < IRI \leq 2,7$	$2 \leq IRI < 4$
Regular	$2,7 < IRI \leq 3,5$	$4 \leq IRI < 6$
Ruim	$3,5 < IRI \leq 5,5$	$6 \leq IRI$
Péssimo	$5,5 < IRI$	

Fonte: Adaptado do DNIT (2011) e Almeida (2018).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

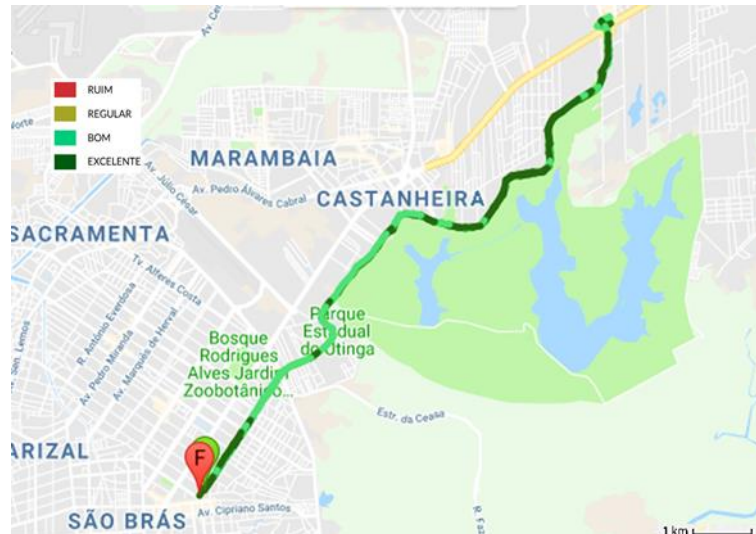
### 4.1 Análise dos trechos percorridos

A Avenida Independência teve sua ampliação e pavimentação finalizada em 2015, é totalmente revestida em Concreto Asfáltico. Entre os percursos analisados neste artigo foi a que apresentou a melhor média de resultados em relação à irregularidade longitudinal segundo o SmartIRI. Contudo, apesar de possuir ótimas condições de conforto ao rolamento, apresentando 37,01% do trecho em condições excelentes e 62,71% bom, tem-se 0,28% do percurso classificado como regular (Figura 3), no qual o valor máximo de IRI foi de 4,41 m/km. Todavia, segundo o DNIT (2011) esta condição é enquadrada como ruim.



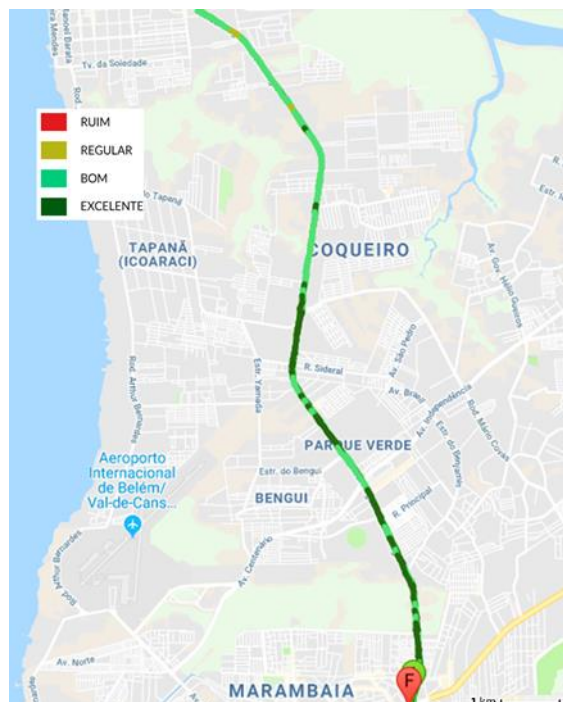
**Figura 3** – Mapa gerado pelo SmartIRI para o percurso do trecho da Avenida Independência.

A Avenida João Paulo II passou por uma ampliação que foi finalizada em 2018, sendo totalmente revestida em Concreto Asfáltico, do qual foram identificados 47,69% do trecho possui condições excelentes e 52,31% boas, segundo a classificação do SmartIRI (Figura 4). O valor máximo encontrado foi de 3,96 m/km que de acordo com o DNIT (2011) representa condições de irregularidade longitudinal ruim.



**Figura 4** - Mapa gerado pelo SmartIRI para o percurso do trecho da Avenida João Paulo II.

A Rodovia Augusto Montenegro está passando, em 2019, por uma implantação de uma via para o *Bus Rapid Transit* (BRT), portanto existem vários trechos em obra. Apesar de ser totalmente revestida em Concreto Asfáltico, foram identificados diversos defeitos, como buracos e remendos, no pavimento durante o percurso. A análise do aplicativo SmartIRI constatou que 37,55% do trecho encontra-se em condições excelentes, 60,82% em condições boas e 1,63%, regular (Figura 5). Foram identificadas 9 medições que apresentaram IRI com classificação ruim, segundo o DNIT (2011), com a maior medição em 4,7 m/km.



**Figura 5** - Mapa gerado pelo SmartIRI para o percurso do trecho da Rodovia Augusto Montenegro.

De modo resumido, na Tabela 3 é possível observar que a condição média da irregularidade longitudinal das Avenidas Independência e João Paulo II se apresentam como ótimas, obtendo um IRI médio de 1,83 m/km e 1,97 m/km, respectivamente. A Rodovia Augusto Montenegro que

faz ligação de Belém a Icoaracá, apresentou uma média de IRI um pouco maior de 2,26 m/km enquadrando-se na classificação Boa. Todos os resultados médios apresentaram avaliação igual à empregada pelo DNIT, apesar de alguns segmentos pontuais de 100m possuírem classificações divergentes.

**Tabela 3** – Descrição obtida pelo SmartIRI dos trechos, IRI médio e condição estrutural.

Trechos	Velocidade (km/h)	Distância (km)	IRI med.	Condição
Avenida Independência	53,18	37,86	1,83	Ótima
Avenida João Paulo II	50,66	20,87	1,97	Ótima
Rodovia Augusto Montenegro	44,44	25,98	2,26	Boa

Observou-se que os resultados de irregularidade obtidos através do SmartIRI, para os trechos percorridos, apresentam ótimas condições gerais de pavimento, apesar de alguns pontos em condição regular. Ao se comparar a classificação da irregularidade longitudinal do SmartIRI com a do DNIT (2011), podem ser identificados algumas disparidades em relação ao enquadramento de valores entre as classes Boa e Ruim, o que indica a necessidade da adequação do aplicativo na sua faixa de classificação, de modo a fornecer informações sobre as irregularidades de acordo com classificação dos órgãos gestores brasileiros.

## 5 CONCLUSÃO

Este artigo investigou a irregularidade longitudinal de pavimentos flexíveis rodoviários com o uso de aplicativos para *smartphones* e realizou um levantamento em rodovias de Belém, no estado do Pará, utilizando o aplicativo SmartIRI. Foi apresentado o nível de eficiência dessa nova tecnologia, que poderá ser uma alternativa para auxiliar órgãos gestores nas tomadas de decisões para gerência de pavimento, tratando-se de um produto de baixo custo operado por usuários, constituindo uma oportunidade de gerar um monitoramento em tempo real por meio de uma rede de informações.

Por ser tratar de rodovias de escoamento da Região Metropolitana de Belém, os trechos percorridos possuem grande importância e influência local, estando sujeitos a tráfego intenso diariamente por serem as vias de escoamento de Belém. Portanto, o desgaste devido a carga e ao intemperismo do clima local, requerem manutenção constante para não aumentar o custo operacional de veículos.

Por fim, verifica-se que o SmartIRI pode ser utilizado em redes rodoviárias em que a alocação de recursos financeiros para aquisição de equipamentos de campo de maior porte sejam escassos. Tendo em vista que o estado do Pará possui uma malha rodoviária com pouca ou inexistente manutenção, a aplicação do SmartIRI para o levantamento da irregularidade longitudinal apresenta-se como uma ferramenta eficiente ao Sistema de Gerência de Pavimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aleadelat, W.; Ksaibati, K.; Wright, C.H.G.; Saha, P. Evaluation of pavement roughness using an android-based smartphone. *Journal of Stomatology*, v. 144, n. 3, 2018.
- Alessandroni, G.; Klopfenstein, L.; Delpriori, S.; Dromedari, M.; Luchetti, G.; Paolini, B.; Seraghiti, A.; Lattanzi, E.; Carini, A.; Bogliolo, A. *SmartRoadSense: Collaborative Road Surface Condition Monitoring*. 27 ago. 2014
- Almeida, L. C. Aplicativo para Smartphone Destinado à Medição da Irregularidade Longitudinal em Rodovias, *Dissertação*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, UFCE, Fortaleza, 2018.
- Almeida, L. C. De; Oliveira, F. H. L. De; Ramos, S. P. Estudo da condição de superfície em rodovias por meio do uso de aplicativo para smartphone. *TRANSPORTES*, v. 26, n. 2, p. 70–83, 31 ago. 2018.



- Astarita, V. Caruso, M.V.; Danieli, G.; Festa, D.C.; Giofrè, V.P.; Iuele, T.; Vaiana, R.; A Mobile Application for Road Surface Quality Control: UNiquALroad. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, Proceedings of EWGT2012 - 15th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, September 2012, Paris.* v. 54, p. 1135–1144, 4 out. 2012.
- ASTM. *Standard E867: Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems*, 2012.
- DNIT. *Manual de Gerência de Pavimentos*. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2011.
- Douangphachanh, V.; Oneyama, H. *Using Smartphones to Estimate Road Pavement Condition*. International Symposium for Next Generation Infrastructure 2013, 3 out. 2013.
- Eriksson, J.; Girod, L.; Hull, B.; Newton, R.; Madden, S.; Balakrishnan, H. The Pothole Patrol: Using a mobile sensor network for road surface monitoring. In: *Mobisys'08 - Proceedings of the 6th International Conference On Mobile Systems, Applications, And Services*. 2008
- Forslof, L. Roadroid - Smartphone road quality monitoring. In: 19th Intelligent Transport Systems World Congress, *ITS 2012*. 2012
- Forslöf, L.; Jones, H. Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smart Phones. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, v. 9, n. 4, 28 abr. 2015.
- Gillespie, T. D.; Paterson, W. D. O.; Sayers, M.W. Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. *World Bank Technical Paper*. Number 46, 87 p. 1986.
- Haas, R. C. G.; Hudson, W. R.; Falls, L. C. *Pavement asset management*. Beverly: Scrivener, 2015. v. 1
- Hanson, T.; Cameron, C.; Hildebrand, E. Evaluation of low-cost consumer-level mobile phone technology for measuring international roughness index (IRI) values. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 41, n. 9, p. 819–827, 13 ago. 2014.
- Islam, S.; Buttlar, W.G.; Aldunate, R.G.; Vavrik, W.R. Measurement of Pavement Roughness Using Android-Based Smartphone Application. *Transportation Research Record*, v. 2457, n. 1, p. 30–38, 1 jan. 2014.
- Jorge, D.; Ferreira, A. Road network pavement maintenance optimisation using the HDM-4 pavement performance prediction models. *International Journal of Pavement Engineering*, v. 13, n. 1, p. 39–51, 1 fev. 2012.
- Karamihas, S.M.; Sayers, M.W. *The Little Book of Profiling*. Basis information about measuring an interpreting road profiles. The Regent of the University of Michigan. 1998.
- Mednis, A. Strazdins, G.; Zviedris, R.; Kanonirs, G.; Selavo, L. Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers. In: 2011 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops, *DCOSS'11*, 2011
- Sayers, M. W. On the calculation of international roughness index from longitudinal road profile. *Transportation Research Record*, n. 1501, p. 1–12, 1995.
- Zang, K. Shen, J.; Huang, H.; Wan, M.; Shi, J Assessing and mapping of road surface roughness based on GPS and accelerometer sensors on bicycle-mounted smartphones. *Sensors (Switzerland)*, v. 18, n. 3, 2018.

---

Eurico Marcelo Coqueiro Costa (euricocoqueiro@gmail.com)

Universidade Paulista.

Av. Nazaré 532- edifício Royal trade center- sala 307 – Nazaré, Belém, PA, Brasil.