

Análise comparativa da irregularidade longitudinal por faixas de tráfego obtida por aplicativo para *smartphones*

Comparative analysis of roughness by traffic lanes obtained by application for smartphones

Raimundo Igor Marques Duarte(1); Elisa da Silva Sousa(2); Francisco Heber Lacerda de Oliveira(3)

1 Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza/CE, Brasil.

E-mail: igormq96@gmail.com

2 Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza/CE, Brasil.

E-mail: elisa@det.ufc.br

3 Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza/CE, Brasil.

E-mail: heber@det.ufc.br

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 6, n. 2, p. 170-185, Julho-Dezembro 2019 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Maio 01, 2019; Aceito: Novembro 11, 2019]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2019.v6i2.3297>

Endereço correspondente / Correspondence address

Campus do Pici, Bloco 703, Fortaleza/CE, Brasil.

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora: Luciana Oliveira Fernandes

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui!/click here!](#)

Resumo

A irregularidade longitudinal é um dos parâmetros mais utilizados na avaliação da qualidade funcional de pavimentos rodoviários. Nas últimas décadas, os órgãos gestores têm o desafio de utilizar métodos que obtenham dados de irregularidade longitudinal de maneira acurada, rápida e, ao mesmo tempo, com equipamentos de baixo custo e fácil operação. Nesse sentido, o uso de aplicativos para *smartphones* surgiram como alternativa aos métodos tradicionais de avaliação. Este artigo realizou uma análise comparativa da irregularidade longitudinal obtida por meio do aplicativo *SmartIRI* e de avaliação subjetiva, em uma extensão de 4,1 km de uma rodovia em pavimento flexível com seis faixas de tráfego. Foi identificado que, em alguns trechos, a avaliação subjetiva foi coerente com os resultados do aplicativo, e em outros, apresentou-se mais conservadora, classificando como Regular o que o aplicativo classificou como Bom. Além disso, foi observado que a utilização do *SmartIRI* possibilita a avaliação de segmentos de 100 metros, podendo identificar trechos críticos, que necessitem de medidas corretivas. Com este trabalho, espera-se auxiliar o processo de tomada de decisão quanto às estratégias de manutenção e reabilitação, contribuindo para a qualidade do conforto ao rolamento em pavimentos rodoviários.

Palavras-chave: Avaliação funcional. Pavimento flexível. Aplicativos. *Smartphone*. Rodovia.

Abstract

The roughness is one of the parameters most used in the evaluation of the functional quality of road pavements. In the last decades, the managers have the challenge of using methods that obtain roughness data accurately, quickly and at the same time with low cost equipment and easy operation. In this sense, the use of smartphone applications has emerged as an alternative to traditional methods of evaluation. In this paper, a comparative analysis of the roughness obtained through the application *SmartIRI* and subjective evaluation was made, to a 4.1 km extension of a flexible paved highway with six traffic lanes. It was identified that, in some sections, the subjective evaluation was consistent with the results of the application, and in others, it was more conservative, classifying as Regular what the application classified as Good. In addition, it was observed that the use of *SmartIRI* allows the evaluation of segments of 100 meters, being able to identify critical sections that need corrective measures. With this paper, it is hoped to aid the decision-making process regarding maintenance and rehabilitation strategies, contributing to the quality of road pavement comfort.

Keywords: Functional evaluation. Flexible pavement. Applications. Smartphone. Highway.

1 Introdução

Uma malha rodoviária com adequado padrão de serventia é fundamental para o crescimento da economia do país e da qualidade de vida da população. No Brasil apenas 12,4% da extensão rodoviária nacional é pavimentada, e desta, 48,3% apresentam problemas nos pavimentos (CNT, 2017). Isso indica que grande parte das rodovias brasileiras não possui adequado estado de conservação, o qual é um parâmetro de avaliação funcional relacionado ao conforto dos usuários, tempo de viagem e redução do custo operacional veicular.

A avaliação da condição funcional dos pavimentos tem como um dos objetivos indicar soluções viáveis de manutenção e reabilitação, garantindo mais segurança e conforto aos usuários. Esse tipo de avaliação pode ter como critério os defeitos da superfície do pavimento ou a irregularidade longitudinal, a qual é utilizada nessa pesquisa. Conforme Douangphachanh (2014), a irregularidade longitudinal é definida como um indicador globalmente aceito para monitorar a serventia e o desempenho dos pavimentos rodoviários, útil no gerenciamento e planejamento de órgãos rodoviários.

Para o monitoramento e determinação da condição do pavimento, frequentemente, a maioria dos órgãos gestores de rodovias, de acordo com Tomiyama *et al.* (2012), utiliza inspeções visuais e avaliações subjetivas. Esse tipo de avaliação, adotada em Ceará (2018), é realizado por um grupo de especialistas que percorrem o trecho sob análise e registram suas opiniões sobre o estado de conservação e conforto do pavimento, ao invés da quantificação objetiva e racional da irregularidade longitudinal.

Por outro lado, com o advento das novas tecnologias, tem se desenvolvido novos equipamentos para mensurar a irregularidade longitudinal. Sabe-se que já existem vários métodos de medição e, também, que há diferenças entre os resultados obtidos, principalmente no que diz respeito à acurácia e à conveniência, além de tornar o processo de avaliação menos laborioso. Dentre esses métodos, têm-se a utilização de *smartphones*, que, a partir do uso de aplicativos específicos podem auxiliar as tomadas de decisões dos órgãos gestores de uma forma mais prática e objetiva quando comparada à maioria das avaliações subjetivas utilizadas pelos órgãos rodoviários no Brasil (ALMEIDA, 2018).

Com base no exposto, o presente artigo tem como objetivo analisar a irregularidade longitudinal, por meio da utilização do aplicativo *SmartIRI*, e comparar com um método de avaliação subjetiva, aplicado nas 6 (seis) faixas de tráfego de uma rodovia estadual no Ceará executada em pavimentação asfáltica.

2 Revisão Bibliográfica

Considerado o melhor parâmetro para exprimir a funcionalidade de um pavimento, o conforto ao rolamento é relacionado aos conceitos de serventia e de irregularidade, de acordo com estudos da AASHTO *Road Test*. A determinação de conforto do usuário ao rolamento, através de uma avaliação subjetiva, indica o padrão de serventia que o pavimento apresenta em um determinado momento de sua vida (NAKAHARA, 2005).

Por outro lado, tem-se a irregularidade longitudinal, considerada uma boa aproximação para a medição indireta da serventia, e definida por Haas e Hudson (1978) como a distorção na superfície do pavimento que torna o rolamento desconfortável. Já Bernucci *et al.* (2008) definem irregularidade longitudinal como um conjunto dos desvios verticais da superfície do pavimento, em relação a um plano de referência, que interfere na dinâmica veicular, na ação das cargas sobre o pavimento, na drenagem superficial e na qualidade do rolamento. Segundo Brasil (2011), a irregularidade longitudinal nos pavimentos não deve ser entendida apenas como um defeito de superfície, mas como um parâmetro que retrata as consequências geradas às condições de rolamento devido a uma série de outros defeitos.

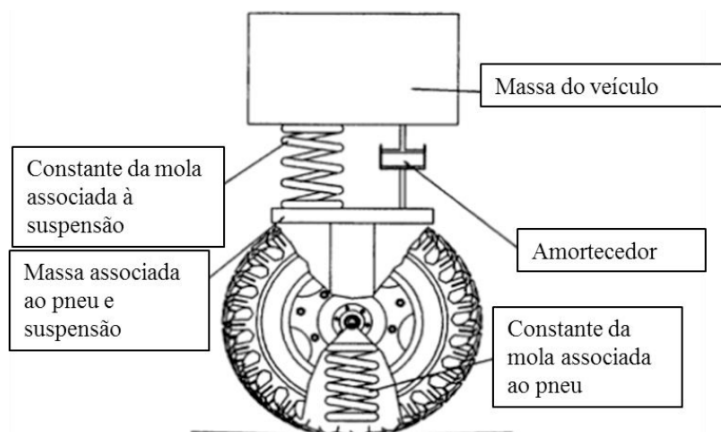
Uma particularidade da irregularidade longitudinal é o fato que, a partir de um certo valor inicial, ela tende a crescer, já que os desvios verticais da superfície do pavimento afetam a componente dinâmica das forças, contribuindo para o aumento da própria irregularidade. Sendo assim, conforme Brasil (2006), há uma interação entre os defeitos, fazendo com que a irregularidade seja apontada como o principal defeito na avaliação de pavimentos, comprometendo as finalidades para as quais estes são construídos: proporcionar suavidade, conforto e segurança ao rolamento. Uma das principais formas de representar essa irregularidade é por meio do Índice de Irregularidade Internacional (*Internacional Roughness Index* – IRI).

2.1 Índice de Irregularidade Internacional

O IRI foi criado com o propósito de ser unificado internacionalmente, a fim de resolver o problema da comparação, subjetividade e dependência da medida com o medidor. Além disso, a escala de irregularidade escolhida para ser o IRI foi a que melhor satisfaz os critérios de ser estável no tempo, transportável e relevante, além de ser prontamente mensurável por todos os operadores (GILLESPIE; PATERSON; SAYERS, 1986; BARELLA, 2008).

Segundo Sayers, Gillespie e Queiroz (1986), essa escala usa um modelo matemático de um quarto de carro, ilustrado na Figura 1, para calcular o IRI, que é o quociente do movimento linear acumulado da suspensão dividido pelo comprimento do perfil longitudinal da rodovia. Assim, o IRI tem uma unidade de medida de inclinação, como mm/m, m/km ou in/mi, por exemplo.

Figura 1. Modelo Quarto de Carro



Fonte: Almeida (2018).

O IRI pode ser calculado por algoritmos que tem como dados de entrada as cotas do perfil longitudinal (obtidos por Nível e Mira). Por sua vez, Bernucci *et al.* (2008) definem o IRI como um índice internacional para a medida da irregularidade que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à superfície de projeto, tendo sido utilizado como ferramenta de controle de obras, aceitação e critério de pagamento de serviços em alguns países.

Há vários equipamentos utilizados para se medir a irregularidade longitudinal em termos de IRI. Segundo Bernucci *et al.* (2008), a irregularidade pode ser mensurada a partir de medidas topográficas de equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato, ou ainda indiretamente avaliada por equipamentos do tipo resposta, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à suspensão. Essa terminologia se deve ao fato desses equipamentos medirem a resposta da suspensão dos veículos causada pela irregularidade.

2.2 Avaliação subjetiva

De acordo com Hirpahuanca (2016) e Douangphachanh (2014), existem situações em que os dados de irregularidade não necessitam de grande acurácia ou simplesmente não é possível obter dados precisos. Nesses casos, pode-se recorrer a uma avaliação subjetiva, mediante inspeção visual, considerando a experiência prévia dos avaliadores e um treinamento prévio da equipe, a fim de evitar discrepância entre os resultados de cada avaliador. Além desse tipo de inspeção, também pode ser adotado um sistema de notas para classificar a condição da superfície do pavimento.

No Brasil, esse método, que tem como base o Valor de Serventia Atual (VSA), é regulamentado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), na Norma DNIT 009/2003 - PRO (BRASIL, 2003). Essa avaliação é realizada por equipes de cinco avaliadores a bordo de um veículo que trafega com velocidade próxima à velocidade diretriz da rodovia, em trechos homogêneos de

aproximadamente 600 m, não podendo ultrapassar 2 km de extensão. Ao percorrer o trecho em análise, os avaliadores determinam uma nota de 0,0 a 5,0, indicando, respectivamente, pavimentos com condições de conforto ao rolamento de “Péssima” a “Ótima”. A partir disso, o VSA é calculado como a média das notas dos avaliadores, registrados em formulário próprio.

2.3 Aplicativos para *smartphones*

Além dos métodos de avaliação já consolidados, tem se desenvolvido métodos que utilizam a tecnologia de *smartphones* para quantificar a irregularidade longitudinal. Conforme Bisconsini (2016), boa parte dos *smartphones* está equipada com capacidade de processamento relativamente avançada, um receptor de sinal de sistema de posicionamento global (*Global Positioning System* - GPS) e sensores de movimento (acelerômetro, magnetômetro e barômetro), que fazem com que esses equipamentos sejam capazes de avaliar a irregularidade.

Uma das vantagens no uso de aplicativos desenvolvidos para *smartphones* na avaliação de pavimentos, segundo Almeida (2018), é a realização de levantamentos mais rápidos, com produtividade e sem maiores interferências humanas, aumentando a objetividade do método. Com a utilização dos *smartphones*, os dados ficam mais acessíveis ao usuário através de plataformas *online*, bem como mais facilmente visualizados e compreendidos pelos envolvidos no processo de gestão de pavimentos, facilitando a tomada de decisão.

Para fins de mensurar a irregularidade longitudinal, conforme as pesquisas já desenvolvidas por Forslof e Jones (2013), Bisconsini (2016), Wang e Guo (2016) e Almeida (2018), precisa-se basicamente do acelerômetro para medir a aceleração vertical, o GPS para fornecer a velocidade com que o veículo passou no trecho e suas coordenadas geográficas e uma unidade de processamento com boa frequência de transmissão de dados. Esses dispositivos possibilitam que o maior número possível de informações (aceleração vertical, coordenadas geográficas, velocidade) sejam coletadas em um trecho.

Os *smartphones* podem fornecer atualizações sobre a condição da irregularidade do pavimento a uma página da *Internet* de forma rápida, em relação a outros métodos mais precisos, mas que, devido ao custo, são utilizados com pouca frequência, segundo Forslof e Jones (2013). Nesse sentido, devem-se adequar os diferentes tipos de equipamentos de avaliação da irregularidade longitudinal, de acordo com o tipo de informação requerida, o tempo e os meios disponíveis. González *et al.* (2008) afirmam que, na prática, um método não impede o uso de outro. A complementação desses sistemas permite a obtenção de informações significativas para a avaliação de desempenho dos pavimentos.

Forslof e Jones (2013) desenvolveram o aplicativo denominado Roadroid, que determina o valor do IRI, a partir de uma estimativa com base na correlação com *Root Mean Square Vertical Acceleration* (Raiz da Média Quadrática da Aceleração Vertical - RMSVA). Para a realização do levantamento, o *smartphone* é fixado no para-brisa de um veículo, o qual, após ser calibrado como recomendado, percorre a via a ser avaliada. Como resultado, o aplicativo gera um mapa da condição funcional do pavimento, e classifica o IRI de cada trecho em quatro classes.

Outro aplicativo para avaliação funcional de pavimentos, é o Roadlab, desenvolvido por Wang e Guo (2016). Com esse aplicativo, o IRI é estimado por meio de regressão, tendo como base os valores de desvio padrão da aceleração vertical e valores de velocidade operacional do veículo. Além disso, o Roadlab foi desenvolvido para que os usuários das vias possam colaborar com a atualização do banco de dados das agências de gerência de pavimento, através de envios de relatórios e fotos georreferenciadas.

Apesar da existência desses aplicativos, neste artigo será utilizado o *SmartIRI*, desenvolvido por Almeida (2018), que também avalia a irregularidade longitudinal. A seguir, será apresentado, brevemente, o funcionamento desse aplicativo.

2.3.1 SmartIRI

O *SmartIRI* é um aplicativo para *Android* que obtém valores de IRI, por meio da correlação com o RMSVA. O aplicativo faz o processamento dos dados de aceleração vertical e calcula o RMSVA a cada 100 m percorridos, informando também as coordenadas geográficas do respectivo trecho de 100 m, a fim de georreferenciar o trecho.

A classificação proposta pelo *SmartIRI* assemelha-se à proposta pelo programa *Highway Development and Maintenance* (HDM-4), desenvolvido a partir de um esforço internacional, com financiamento do Banco Mundial (BRASIL, 2011). No entanto, uma nova classe foi criada por Almeida (2018), denominada Excelente, transpondo, assim, as classes subsequentes para o limite posterior, fazendo com que a classe Regular do HDM-4 fosse classificada como Bom no *SmartIRI*. A Tabela 1 mostra o comparativo entre as classificações mencionadas.

Tabela 1. Comparação das classificações propostas pelo *SmartIRI* e HDM-4

Condições de trafegabilidade	HDM- 4 (m/km)	Condições de trafegabilidade	<i>SmartIRI</i> (m/km)
Boa	$IRI \leq 2$	Excelente	$0 < IRI < 2$
Regular	$2 < IRI \leq 4$	Boa	$2 \leq IRI < 4$
Ruim	$4 < IRI \leq 6$	Regular	$4 \leq IRI < 6$
Péssimo	$6 < IRI$	Ruim	$6 \leq IRI$

Fonte: Almeida (2018).

Segundo Almeida (2018) essa transposição das classes foi necessária devido ao *SmartIRI* funcionar como um equipamento do tipo resposta e, ao observar a classificação proposta por Karamihas e Sayers (1998), notou-se que pavimentos antigos apresentam valores de IRI maiores que 6 m/km. Outro motivo para realizar a transposição é que grande parte dos revestimentos dos pavimentos rodoviários do estado do Ceará, local onde foi desenvolvido e calibrado o aplicativo, são em Tratamentos Superficiais, que, devido ao processo executivo, tendem a apresentar valores de IRI maiores (média de 2,7 m/km na fase inicial) do que um pavimento revestido em Concreto Asfáltico (ALMEIDA; OLIVEIRA; RAMOS, 2018).

Assim, essa transposição, tem como finalidade aproximar a classificação do aplicativo com a de outras formas de medição, tendo em vista que, por ser um equipamento do tipo resposta, pode apresentar uma sensibilidade maior na identificação de irregularidades. Dessa forma, os resultados das avaliações com o aplicativo serão melhor interpretados para a tomada de decisão nas atividades de manutenção e reabilitação do sistema de gerência de pavimento.

Ainda conforme Almeida (2018), a ideia central do *SmartIRI* é torná-lo simples e fácil de operar, de forma eficiente em termos de recursos para que não afete a vida útil da bateria do *smartphone*, bem como o desempenho geral do dispositivo enquanto o aplicativo estiver em funcionamento. Em relação à acurácia dos resultados, os levantamentos mostraram que os valores de IRI fornecidos pelo *SmartIRI* foram condizentes com outros métodos ou classes de equipamentos na maioria dos testes e calibração efetuados. Acrescenta-se que essa etapa de calibração foi realizada em 165 km de um trecho experimental e os resultados foram comparados com os do método de Nível e Mira e de um aplicativo de referência (*Roadlab*). Além disso, vale ressaltar que, para essa etapa, utilizou-se como base as correlações entre velocidade e Raiz da Média Quadrática (RMS), e entre IRI e RMSVA (ALMEIDA, 2018).

3 Avaliação do levantamento da irregularidade longitudinal

A rodovia de estudo possui duas pistas de rolamento e seis faixas de tráfego, com extensão total de 6 km e revestimento em Concreto Asfáltico. Ceará (2018), responsável pelas rodovias estaduais, dividiu a Rodovia CE-401 em dois segmentos: o primeiro está delimitado entre a Rodovia BR-116 e o Terminal de Passageiros do Aeroporto Internacional de Fortaleza e o segundo entre o Aeroporto e a Avenida dos Expedicionários. O Segmento 1 é classificado como Bom e o Segmento 2, como Regular, considerando a qualidade ao rolamento avaliada por meio do procedimento subjetivo, regulamentado por Brasil (2003).

Embora a Rodovia CE-401 tenha 6 km de extensão, o trecho avaliado tem cerca de 4,1 km. Na Figura 2 é apresentado o trecho, onde os pontos indicadores “I” e “F”,

respectivamente, representam o início e o final do levantamento para as faixas de tráfego do Sentido 1, e são, respectivamente, o final e início do levantamento do Sentido 2.

Figura 2. Trecho com 4,1 km de extensão avaliado



Fonte: Adaptado de Google Maps (2018).

Almeida (2018) ressalta que os melhores resultados do levantamento foram obtidos com velocidades entre 60 e 80 km/h. Todavia, o levantamento realizado nessa pesquisa foi feito a uma velocidade média de 57 km/h, pois a velocidade máxima permitida na maior parte do trecho avaliado era de 60 km/h. Por outro lado, Sayers *et al.* (1986) e Karamihas e Sayers (1998) defendem que a velocidade para avaliação com equipamentos do tipo resposta deve ser limitada a 25 km/h. Assim, entende-se que a medição realizada apresenta-se com velocidades adequadas. Para um melhor entendimento da análise comparativa dos dados levantados, as faixas foram numeradas conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3. Numeração das faixas de tráfego e os sentidos



Fonte: Adaptado de Google Maps (2018).

O levantamento foi realizado em 5 de agosto de 2018, durante o período matutino de um dia claro e sem chuva, com duas pessoas a bordo de um veículo da marca Hyundai, modelo HB 20, motor 1.6, ano 2016. O sistema de suspensão do veículo foi

inspecionado para mitigar os possíveis erros que afetariam a medição. Os pneus foram calibrados em 32 psi, conforme orientação do fabricante, e o tanque de combustível abastecido com cerca de 20 litros de gasolina.

O *smartphone* utilizado foi o Galaxy S7 da marca Samsung, pois o aparelho apresenta giroscópio, o que permite a permanência da mesma direção do eixo de rotação na ausência de forças que o perturbem. O giroscópio em consonância com o acelerômetro, torna irrelevante os erros na aquisição de dados da aceleração vertical tornando-os mais confiáveis.

Com relação ao suporte veicular para *smartphones* utilizado, Forslof e Jones (2013) recomendam o modelo *Vehicle Dock* da marca Samsung. Esse equipamento fornece apoio adequado para o *smartphone*, o que permite a mitigação de erros oriundos de vibração excessiva do aparelho com o veículo em movimento.

O levantamento do trecho foi realizado em cada faixa de tráfego, e gerado pelo *SmartIRI* uma planilha de dados para segmentos de 100 m com os respectivos desvios-padrões para cada faixa de tráfego. Os valores de IRI estão organizados conforme a Tabela 2, já ilustrados com as cores de acordo a classificação do *SmartIRI*, a saber, verde escuro para “Excelente”, verde para “Bom”, amarelo para “Regular” e vermelho para “Ruim”.

Percebe-se pela Tabela 2 que o trecho total avaliado foi dividido em dois segmentos, conforme Ceará (2018). A divisão foi feita no 23º segmento de 100 metros no Sentido 1, tendo em vista que este segmento é o que passa em frente ao terminal de passageiros do Aeroporto.

Para fins de análise comparativa, na Tabela 3 são apresentadas as porcentagens de valores de IRI, das faixas de tráfego, em suas respectivas categorias de classificação segundo o *SmartIRI*, além dos resultados apresentados por Ceará (2018), na sua avaliação subjetiva. Vale ressaltar que não houveram atividades de manutenção e reabilitação no intervalo de avaliações realizadas.

Tabela 2. Organização dos dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego

		Sentido 2			Sentido 1				
		Segmento de 100m	F2	F4	F6	F5	F3	F1	Segmento de 100m
Segmento 1 (BR-116 ao Aeroporto) correspondente à classificação de Ceará (2018)	37 °	-	3,16	3,17	2,93	2,65	2,92	1°	
	36 °	3,23	2,99	3,27	2,75	2,84	2,78	2°	
	35 °	3,41	3,00	3,15	3,15	3,35	2,91	3°	
	34 °	3,09	3,29	3,82	3,01	3,20	2,68	4°	
	33 °	3,86	3,11	3,95	3,30	3,55	3,39	5°	
	32 °	3,26	3,45	3,74	3,69	3,19	3,13	6°	
	31 °	3,60	3,36	3,61	3,28	3,53	3,02	7°	
	30 °	3,43	3,82	3,48	3,52	3,12	3,09	8°	
	29 °	3,70	3,40	3,62	2,75	3,49	2,72	9°	
	28 °	3,77	3,41	3,34	3,37	3,18	2,79	10°	
	27 °	3,16	3,54	3,35	3,31	3,09	3,46	11°	
	26 °	3,24	3,93	3,27	3,45	2,93	3,97	12°	
	25 °	3,08	3,79	3,14	3,29	3,10	3,90	13°	
	24 °	3,04	3,67	3,05	3,22	3,45	3,29	14°	
	23 °	3,49	4,24	2,81	5,16	4,70	5,06	15°	
	22 °	5,95	4,84	6,70	3,74	3,56	3,37	16°	
	21 °	3,08	3,28	2,90	3,31	3,47	3,26	17°	
	20 °	3,09	3,20	2,74	3,49	3,13	3,37	18°	
	19 °	3,15	2,91	3,03	3,61	2,98	3,65	19°	
	18 °	2,87	3,11	2,70	2,88	3,77	3,36	20°	
	17 °	2,90	3,16	2,84	3,28	3,15	3,53	21°	
	16 °	3,71	2,97	2,67	4,15	3,97	4,18	22°	
	15 °	2,97	3,48	2,66	3,42	3,58	3,34	23°	
IRI médio	3,41	3,45	3,36	3,42	3,38	3,38	-		
Desvio padrão	0,64	0,46	0,82	0,50	0,43	0,55	-		
Segmento 2 (Aeroporto à Av. Dos Expedicionários) correspondente a classificação de Ceará (2018)	14 °	4,38	2,83	4,27	2,84	3,80	3,55	24°	
	13 °	3,66	2,87	2,99	3,40	3,23	3,72	25°	
	12 °	2,80	3,23	3,36	3,07	3,52	3,22	26°	
	11 °	3,24	2,75	2,77	4,40	4,78	3,62	27°	
	10 °	3,90	4,26	4,35	3,38	3,41	4,27	28°	
	9 °	3,68	3,60	3,40	4,21	5,90	4,84	29°	
	8 °	4,11	4,14	3,78	2,88	7,20	4,86	30°	
	7 °	5,07	6,11	4,25	3,38	5,16	5,81	31°	
	6 °	5,64	4,73	2,80	3,88	3,86	5,08	32°	
	5 °	4,97	4,36	3,41	3,71	4,71	5,21	33°	
	4 °	4,45	3,24	3,51	4,02	4,98	4,80	34°	
	3 °	3,43	4,02	3,97	4,14	5,17	4,98	35°	
	2 °	5,40	3,15	3,09	3,59	4,44	3,84	36°	
	1 °	4,37	3,51	3,44	6,40	6,20	5,80	37°	
	IRI médio	4,22	3,77	3,53	3,81	4,74	4,54	-	
	Desvio padrão	0,84	0,92	0,53	0,89	1,15	0,84	-	

Tabela 3. Resumo dos resultados da avaliação de cada método

Segmento 1								
<i>SmartIRI</i>	F2	F4	F6	Ceará (2018)	F5	F3	F1	Ceará (2018)
Excelente	0.00%	0.00%	0.00%	Boa	0.00%	0.00%	0.00%	Boa
Bom	95.45%	91.30%	95.65%		91.30%	95.65%	91.30%	
Regular	4.55%	8.70%	0.00%		8.70%	4.35%	8.70%	
Ruim	0.00%	0.00%	4.35%		0.00%	0.00%	0.00%	
Segmento 2								
<i>SmartIRI</i>	F2	F4	F6	Ceará (2018)	F5	F3	F1	Ceará (2018)
Excelente	0.00%	0.00%	0.00%	Regular	0.00%	0.00%	0.00%	Regular
Bom	42.86%	57.14%	78.57%		57.14%	28.57%	35.71%	
Regular	57.14%	35.71%	21.43%		35.71%	57.14%	64.29%	
Ruim	0.00%	7.14%	0.00%		7.14%	14.29%	0.00%	

Observa-se na Tabela 3 que a classificação de todas as faixas do Segmento 1 é condizente com a classificação de Ceará (2018), uma vez que grande parte do segmento é classificada como Bom pelo *SmartIRI*. Todavia, no Segmento 2 existe uma divergência entre as classificações, uma vez que Ceará (2018) classifica o Segmento 2 como Regular nos dois sentidos, enquanto o *SmartIRI* classifica como Regular apenas o IRI médio das faixas F2, F3 e F1 e as demais como Bom.

Assim, nota-se uma diferença mais evidente entre as classificações no Segmento 2, onde o método usado por Ceará (2018) mostrou-se mais conservador que o *SmartIRI*, para as faixas F4, F6 e F5. Além disso, percebe-se que, nesse mesmo segmento, segundo a classificação do *SmartIRI*, há quantidades significativas de trechos bons, regulares e ruins. Porém, pela avaliação apresentada por Ceará (2018) não se tem informação sobre a quantidade e extensão de trechos em situações melhores ou piores que a média do segmento.

Percebe-se que as faixas F5 e F6, que estão próximas ao canteiro central da rodovia, apresentam conforto ao rolamento melhor, em relação às faixas próximas ao acostamento (F1 e F2). O fato de o tráfego de veículos pesados ocorrer preferencialmente nas faixas de tráfego mais externas (próximas ao acostamento) é uma hipótese para essa diferença na qualidade do rolamento. Além disso, pelos dados de Volume Médio Diário Anual (VMDa), por classes de veículo (Tabela 4), a porcentagem de veículos pesados como caminhões e ônibus é bem significativa, com 35% no Sentido 1 e 40% no Sentido 2.

Tabela 4. VMDa da Rodovia CE-401

Sentido	1	1	2	2
Motocicleta	2.408	11%	2.546	12%
Automóvel	12.493	54%	10.436	48%
Ônibus	670	3%	630	3%
Caminhão Leve	440	2%	468	2%
Caminhão Médio	1.043	5%	999	5%
Caminhão Pesado	2.073	9%	1.876	9%
Caminhão Ultra pesado	3.650	16%	4.462	21%
TOTAL	22.777	100%	21.417	100%

Fonte: Carannante (2018).

O fato da qualidade do conforto ao rolamento das faixas de tráfego do Sentido 1 ser, de modo geral, pior que as faixas do Sentido 2 pode ser explicado pela questão daquelas faixas apresentarem VMDa maior em relação as faixas de tráfego do Sentido 2 (Tabela 4). Isso porque um maior volume de tráfego conduz à deterioração mais rápida do pavimento, fazendo surgir, assim, defeitos de superfície que aumentam a irregularidade longitudinal.

4 Considerações Finais

O uso de aplicativos para *smartphones* na avaliação funcional de rodovias pode ser considerado satisfatório e com possibilidades de utilizações futuras por parte dos órgãos gestores rodoviários, tendo em vista que apresentam resultados confiáveis quando comparados à avaliação subjetiva. O fato de o método ser mais prático, mais rápido, produtivo e, possivelmente, com menor custo aquisitivo, em relação a outros métodos mais precisos, possibilita que em rodovias com várias faixas de tráfego, possam ser realizados levantamentos de forma mais frequente.

Além disso, o aplicativo utilizado neste trabalho - *SmartIRI* - fornece dados de irregularidade longitudinal (IRI) a cada segmento de 100 m, georreferenciados em mapas, ilustrando-os com cores segundo uma classificação própria. Dessa forma, o órgão rodoviário pode fazer uma análise mais específica dos pavimentos sob sua responsabilidade, identificando trechos críticos, com valores de IRI elevados, que poderiam ser negligenciados em uma avaliação global. A situação analisada facilita o processo de tomada de decisão quanto às estratégias de manutenção e reabilitação ao longo do tempo e, por consequência, a alocação otimizada dos recursos humanos, materiais e financeiros disponíveis.

Por fim, a utilização dos aplicativos para *smartphones* insere a infraestrutura rodoviária nacional no contexto do desenvolvimento das novas tecnologias de avaliação de pavimentos, sobretudo para tratar de algo essencial e bastante perceptível

para os seus usuários: conforto ao rolamento. Ressalta-se que é necessária a calibração do equipamento, uma vez que os resultados variam com o modelo do veículo, com o modelo do *smartphone* e com a velocidade de operação.

Referências

ALMEIDA, L.C. *Aplicativo para smartphone destinado à medição da irregularidade longitudinal em rodovias*. 2018. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

ALMEIDA, L.C.; OLIVEIRA, F. H. L.; RAMOS, S.P. Estudo da condição de superfície em rodovias por meio do uso de aplicativo para *smartphone*. *Revista Transportes*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 70-83, 2018.

BARELLA, R. M. *Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais*. 2008. 362 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Norma DNIT 009/2003 - PRO: avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos: procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de restauração de pavimentos asfálticos*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. (Publicação IPR, 720).

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Geral. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de gerência de pavimentos*. Rio de Janeiro, 2011. (Publicação IPR, 745).

BISCONSINI, D. R. *Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por smartphones*. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016

CARANNANTE, F. B. Informações - CE-401. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: igormq96@gmail.com. em: 10 set. 2018. Planilha anexa: Estimativa do volume médio diário anual do tráfego para os trechos do Sistema Rodoviário Estadual (2012).

CEARÁ. Departamento Estadual de Rodovias. Secretaria da Infraestrutura. *Situação das rodovias*. Fortaleza, 2018. Disponível em: <http://www.der.ce.gov.br/rodovias/situacao-das-rodovias/>. Acesso em: 20 set. 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. *Transporte rodoviário: por que os pavimentos não duram?* 2017. Brasília, 2017.

DOUANGPHACHANH, V. *The Development of a Simple Method for Network-wide Road Surface Roughness Condition Estimation and Monitoring Using Smartphone Sensors*. 2014. 172 f. Tese (Doutorado) -Tokyo Metropolitan University, Tokyo, 2014.

FORSLÖF, L.; JONES, H. *Roadroid: continuous road condition monitoring with smartphones*. In: IRF 17th World Meeting and Exhibition, Riyadh, 2013.

GILLESPIE, T. D.; PATERSON, W. D. O.; SAYERS, M. W. *Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements*. Washington: The World Bank, 1986. (World Bank Technical Paper, Number 46).

GOOGLE MAPS. [CE-401, Fortaleza - CE]. [c2018]. Disponível em: <https://goo.gl/WPFc7c>. Acesso em: 21 set. 2018

GONZÁLEZ, A. O'BRIEN, E. J.; LI, Y.-Y.; CASHELL, K. The use of vehicle acceleration measurements to estimate road roughness. *Vehicle system dynamics*, v. 46, n. 6, p. 483-499, 2008.

HAAS, R. e HUDSON, W. R. *Pavement Management System*. McGraw-Hill. New York, NY, 1978.

HIRPAHUANCA, D. L. *Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco-Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de Merlin*. 2016. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –Universidad Andina del Cusco, Cusco, 2016.

KARAMIHAS, S. M.; SAYERS, M. W. *The little book of profiling: basic information about measuring and interpreting road profiles*. [S.l.: s.n.], 1998.

NAKAHARA, S. M. *Estudo do Desempenho de Reforços de Pavimentos Asfálticos em Via Urbana sujeita a Tráfego Comercial Pesado*. 2005. 312f Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SAYERS, M. W.; GILLESPIE, T. D.; QUEIROZ, C. A. V. The international road roughness experiment: a basis for establishing a standard scale for road roughness measurements. *Transportation Research Record*, v. 1084, p. 76-85. 1986.

TOMIYAMA, K. KAWAMURA, A.; NAKAJIMA, S.; ISHIDA, T.; JOMOTO, M. *A mobile profilometer for road surface monitoring by use of accelerometers*. [S.l.: s. n.], 2012. Artigo apresentado no 7th Symposium on Pavement Surface Characteristics.

WANG, W.; GUO, F. *RoadLab: revamping road condition and road safety monitoring by crowdsourcing with smartphone app*. [S.l.: s.n.], 2015. Artigo submetido para apresentação no Transportation Research Board 95th Annual Meeting, Washington, 2016.