

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS POR MEIO DO VSA E DO IRI OBTIDO POR APLICATIVO PARA SMARTPHONES

**Pedro Guilherme Pinheiro Santos Fernandes
Pedro Henrique Fontenele Costa Carvalho
Ernesto Ferreira Nobre Júnior
Francisco Heber Lacerda de Oliveira**

Universidade Federal do Ceará
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

RESUMO

A obtenção do Índice Internacional de Irregularidade (IRI), geralmente, necessita de equipamentos de alto custo de aquisição, tornando a avaliação funcional onerosa e demorada. Por outro lado, a utilização de recursos encontrados em *smartphones* pode ser uma alternativa rápida e econômica para obtenção dos níveis de irregularidade longitudinal dos pavimentos rodoviários. Este estudo visa comparar dados do IRI obtidos em uma rodovia estadual no Ceará, por meio de um aplicativo para *smartphone*, com os dados de Valor de Serventia Atual (VSA), sendo esta, uma avaliação subjetiva, definida pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). O estudo também se propõe a comparar os resultados com dados retroativos, com a finalidade de entender a mudança da qualidade da via dada operações de manutenção. O segmento estudado apresentou VSA entre ótimo a regular e IRI entre regular a ruim com forte correlação entre os parâmetros.

ABSTRACT

The traditional International Roughness Index (IRI) evaluation generally requires high-cost equipment, making the functional assessment costly and slow. As a result, the use of smartphones applications may be an economic and fast alternative of longitudinal irregularity obtainment. This study has the aim of comparing IRI data acquired through a smartphone application to the Current Service Value (VSA) which is a subjective assessment of paved roads, defined by the National Department of Transportation Infrastructure (DNIT). The study also compares the results to retroactive data in order to understand the changes in road quality by maintenance operations. The studied segment presented VSA between optimal and regular and IRI between regular and poor, with strong correlation between the parameters.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da condição funcional dos pavimentos tem o objetivo de indicar as melhores soluções de manutenção e reabilitação, garantindo maior segurança e conforto aos usuários e economia na operação das rodovias (Lemlin, 1998). Em geral, um dos fatores mais associados à qualidade dos pavimentos é a irregularidade longitudinal, sendo esta, um desvio relativo a um plano de referência; esse tipo de irregularidade tem influência direta na qualidade de rolamento, uma vez que afeta a dinâmica dos veículos e, também, influi nas cargas a qual a via é submetida (DNER, 1994).

Um dos principais índices qualitativos que incorpora as condições relacionadas às irregularidades longitudinais é o Índice Internacional de Irregularidade, do inglês, *International Roughness Index* (IRI). O IRI pode ser obtido com auxílio de diferentes equipamentos, tais como, nível e mira, dipstick, MERLIN e perfilômetro inercial a laser, sendo o perfilômetro o equipamento mais ágil em levantamentos de trechos longos de rodovia. O perfilômetro a laser é composto por sensores acoplados ao para-choque de um veículo, como mostrado na Figura 1, sendo avaliados os deslocamentos ocorridos na suspensão do veículo em razão da distância percorrida, obtendo-se valores em mm/m ou em m/Km (Sayers e Karamilhas, 1998; Barella, 2008).



Figura 1: Perfilômetro a laser (Universidad de la República, 2015)

Contudo, a obtenção dos parâmetros qualitativos de irregularidade através do IRI tem custo relativamente elevado, dado a obtenção, operação e manutenção do perfilômetro. Em consequência, levantamentos subjetivos são considerados como alternativa. DNIT (2003) propõe o uso do Valor de Serventia Atual (VSA), que consiste em uma medida subjetiva baseada na opinião de avaliadores, por meio de notas adotadas em função da capacidade do pavimento atender as exigências do tráfego, ao conforto e suavidade.

O VSA é considerado impreciso dado que os resultados são dependentes das opiniões e critérios pessoais dos avaliadores. As notas são dadas em uma escala de 0 a 5, onde a nota 0 é o valor correspondente ao pior conceito de conforto ao rolamento, e a nota 5, o melhor conceito (DNIT, 2003). Dessa forma, o VSA possui uma relação inversa ao IRI, uma vez que o IRI tem uma tendência crescente relacionada ao nível de irregularidade, ao contrário do VSA, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Conceitos relacionados aos resultados de VSA e IRI (Wightman *et al.*, 2000)

| VSA | IRI (mm/m) | Conceito |
|-------------------------|-------------------------|----------|
| $0 \leq \text{VSA} < 1$ | $6 < \text{IRI}$ | Péssimo |
| $1 \leq \text{VSA} < 2$ | $4 < \text{IRI} \leq 6$ | Ruim |
| $2 \leq \text{VSA} < 3$ | $2 < \text{IRI} \leq 4$ | Regular |
| $3 \leq \text{VSA} < 4$ | $\text{IRI} \leq 2$ | Bom |
| $4 \leq \text{VSA} < 5$ | - | Ótimo |

Outra opção para avaliação e análise preliminar da condição funcional do pavimento é o uso de *smartphones* na obtenção indireta do IRI, ocorrendo esta, por meio dos acelerômetros contidos nos aparelhos. Essa possibilidade de avaliação pode vir a reduzir custos operacionais e o tempo de execução se comparadas à avaliação realizada com perfilômetros a laser, uma vez que é possível realizá-la somente com um aparelho *smartphone* acoplado ao para-brisa de um veículo. Além disso, a avaliação funcional através de *smartphones* não é sujeita a subjetividades associadas ao avaliador como ocorre com VSA (Almeida, 2018).

Com isso, este artigo tem como objetivo comparar as avaliações com base no VSA e no IRI obtido por *smartphone*, mais especificamente através do aplicativo *SmartIRI*. Além disso, o trabalho também se propõe a comparar os resultados obtidos nas avaliações de 2018 com dados retroativos de IRI e VSA de 2017 no mesmo seguimento de uma rodovia no estado do Ceará com a finalidade de observar a variação dos valores em função de mudanças na superfície do pavimento.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Diante do custo da avaliação funcional feita por perfilômetros a laser e da subjetividade atribuída ao VSA, uma das opções é utilizar *smartphones*, como feito nos estudos de Douangphachanh e Oneyama (2014), Alessandroni *et al.* (2014), Buttlar e Islam (2014), Hanson e Cameron (2014), Jones e Forslof (2015) e Bisconsini (2016). De acordo com Islam *et al* (2014), os *smartphones* atuais contém diversos sensores e equipamentos de medição, tais como, acelerômetros multiaxiais, medidores de temperatura, giroscópios, sensores de intensidade de luz e de campo magnético. Em consequência, os *smartphones* podem ser utilizados como ferramenta para medição de irregularidade por meio de aplicativos, tais como os desenvolvidos por Forslof (2013) e Almeida (2018).

Em geral, os *smartphones* quando acoplados ao veículo, conseguem captar por meio do acelerômetro, as diversas acelerações verticais durante a movimentação em uma determinada via, ou seja, as vibrações em razão das irregularidades longitudinais associadas ao pavimento podem ser medidas através desses sensores (Hanson e Cameron, 2014). Segundo Bisconsini (2016), a magnitude das acelerações medidas está relacionada ao tipo, frequência de ocorrência e severidade dos defeitos no pavimento, conseqüentemente, é possível correlacionar os sinais com o IRI, apesar do acelerômetro contido nos *smartphones* não funcionarem como perfilômetros, posto que não medem diretamente os deslocamentos entre a carroceria e o eixo traseiro.

A correlação das acelerações com a irregularidade do pavimento ocorre quando são confrontados os valores de IRI medidos de forma convencional e as medidas estatísticas de raiz do valor quadrático médio calculado através dos sinais de aceleração vertical obtidos pelos sensores, sendo este parâmetro conhecido por *Root Mean Square Vertical Acceleration* (RMSVA) (Hanson e Cameron, 2014; Bisconsini, 2016). Ainda de acordo com Bisconsini (2016), os valores de RMSVA tem forte correlação com o IRI, apresentando coeficientes de correlação superiores 0,90.

No trabalho de Almeida (2018), o modelo matemático utilizado em seu aplicativo, *SmartIRI*, foi baseado na correlação linear com os dados de RMSVA, onde os valores IRI utilizados na calibração foram obtidos através de nível e mira em um trecho experimental de 320 m. Desta forma, apenas o acelerômetro e o receptor GPS do *smartphone* são utilizados no aplicativo, onde o acelerômetro monitora a variação da aceleração de um dispositivo ao longo dos três eixos, sendo este sensor utilizado como uma medida inercial de posição, velocidade, inclinação e orientação, tendo como referência a aceleração da gravidade e vibração. Já o GPS tem o papel de associar a cada medição os dados vinculados de aceleração vertical.

Apesar do potencial de inovação desses aplicativo na avaliação funcional de pavimentos, ainda existem algumas limitações para utilização. Douangphachanh (2014) menciona que na maioria dos aplicativos, o *smartphone* precisa ser fixado com um suporte especial no para-

brisas do veículo utilizado na avaliação, além disso precisam ser feitas inúmeras calibrações antes da utilização, para que seja garantido valores condizentes a condição funcional da via. Contudo, apesar das particularidades e limitações, os *smartphones* são uma opção viável e mais acurada que métodos subjetivos, possibilitando que vias públicas sejam avaliadas preliminarmente em relação à parâmetros de funcionalidade dos pavimentos, e possibilitando que seja possível gerar bancos de dados, sendo possível acompanhar o nível de irregularidade de um determinado pavimento em função do tempo (Bisconsini, 2016; Almeida, 2018).

3. MÉTODO DE PESQUISA

As avaliações ocorreram em Fortaleza, estado do Ceará, na Avenida Senador Carlos Jereissati (Rodovia CE-501), em junho de 2018. A rodovia mencionada possui duas pistas de rolamento, separadas por canteiro central, contendo 3 faixas de tráfego cada, e executada entre os anos de 1997 e 1998, em Concreto Asfáltico Usinado a Quente. Com o objetivo de comparar os resultados dos métodos aplicados, um segmento de 4,2 Km foi dividido em sete trechos, cada um com 600 m atendendo a recomendação de DNIT (2003), conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2: Extensão analisada da avenida (Google Earth, 2018)

A avenida foi escolhida em decorrência de uma mudança visualmente perceptível na qualidade funcional do pavimento, e no conforto ao rolamento, após determinado ponto de sua extensão. Com isso, foi possível notar a variação nos índices, e assim comparar quantitativamente a sensibilidade da avaliação qualitativa de cada método. Além disso, outro critério para escolha da rodovia foi o fato de já haverem dados de medições anteriores, sendo estes, utilizados na análise retroativa apresentadas na seção de resultados e discussão.

3.1. Avaliação com base no IRI

A aquisição dos dados de IRI foi realizada por meio do aplicativo *SmartIRI*, no qual através do acelerômetro e GPS contidos no *smartphone*, foram realizadas as medições de aceleração vertical com latitude e longitude associada. Com as acelerações verticais, o aplicativo obtém os valores de RMSVA, com objetivo de se obter um parâmetro representativo da magnitude da aceleração dada uma quantidade de obtenções variáveis da mesma. O próprio aplicativo através do modelo matemático correlaciona o IRI associado ao RMVA correspondente. Como resultado o aplicativo exporta os valores de RMVA, IRI, longitude e latitude a cada medição.

Posteriormente os dados foram filtrados através do *software* Excel, sendo feita uma média ponderada dos valores de IRI em relação à distância percorrida nas avaliações, uma vez que

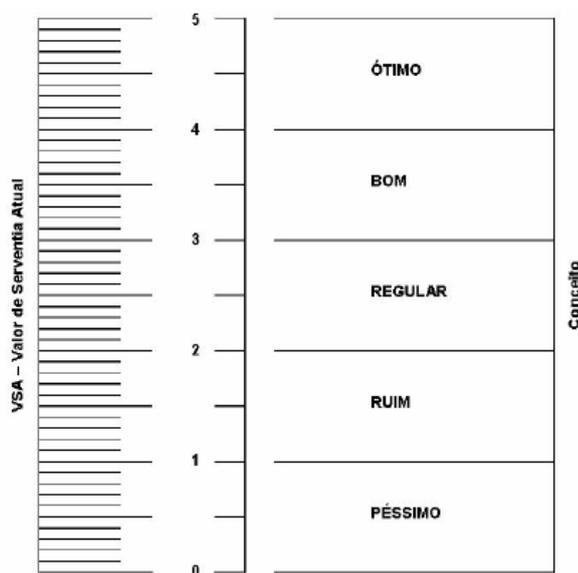
os valores são dados em distâncias de, aproximadamente, 100 m. Em campo, o levantamento dos dados consistiu basicamente na fixação do *smartphone* ao para-brisa dianteiro, interno, de um veículo de passeio do tipo sedan, como explicitado na Figura 3, onde o motorista tentou manter uma velocidade constante de 60 Km/h utilizando a faixa central da rodovia.



Figura 3: Exemplo de aplicação do *SmartIRI* em rodovias (Almeida, 2018)

3.2. Avaliação com base no VSA

A avaliação subjetiva com base no VSA foi realizada de acordo com as recomendações de DNIT (2003), onde 5 avaliadores atribuíram notas de 0 a 5, com base no nível de conforto durante o percurso, assim como suavidade na direção, tendo em vista, a capacidade do pavimento atender as condições de tráfego nas quais foi dimensionado para suportar. Na Figura 4 é possível observar a ficha de avaliação de serventia utilizada nas avaliações.



Notas: Trecho 1: _____ Trecho 2: _____ Trecho 3: _____ Trecho 4: _____ Trecho 5:
 _____ Trecho 6: _____ Trecho 7: _____

Rodovia: Avenida Senador Carlos Jereissati (Rodovia CE-501)

Figura 4: Ficha do VSA com base em DNIT (2003)

Com os resultados associados à avaliação de cada trecho, o VSA foi obtido através de uma média aritmética das notas de cada um dos avaliadores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram analisados os dados de RMSVA fornecidos pelo aplicativo e os valores de IRI calculados através das correlações, sendo obtidas as médias de IRI para cada trecho. As médias foram comparadas ao VSA correspondente nos respectivos trechos, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de VSA e IRI para cada trecho analisado

| Trecho | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Intervalo (Km) | 0 a 0,6 | 0,6 a 1,2 | 1,2 a 1,8 | 1,8 a 2,4 | 2,4 a 3,0 | 3,0 a 3,6 | 3,6 a 4,2 |
| VSA | 4,4 | 4,3 | 4,3 | 4,1 | 3,8 | 3,0 | 2,9 |
| IRI (mm/m) | 3,2 | 3,1 | 3,3 | 3,2 | 3,7 | 5,6 | 5,0 |

A partir da Tabela 2, foi possível perceber o esperado aumento do IRI de forma simultânea a redução do VSA, ou seja, a tendência oposta dos índices, como mostrado na Figura 5.

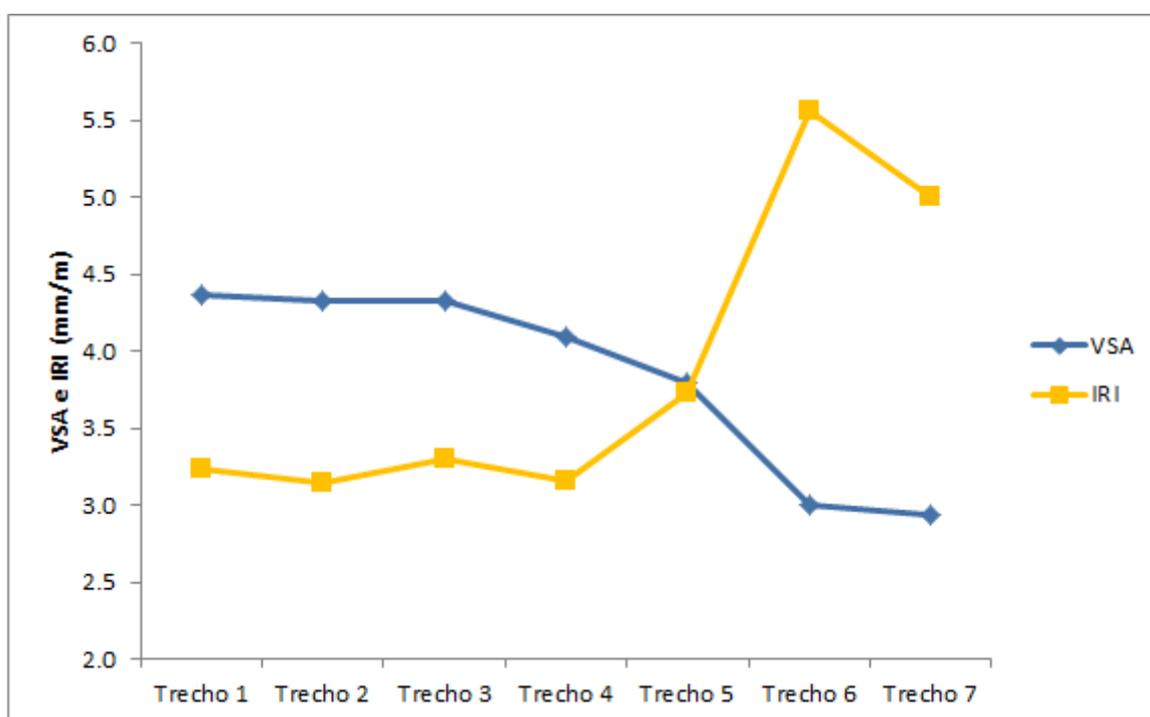


Figura 5: Resultados de VSA e IRI ao longo dos trechos.

Também foi possível observar a redução significativa na qualidade da superfície do pavimento nos trechos 6 e 7 devido à defeitos visíveis durante as avaliações, tais como ondulações e panelas. Por consequência, os valores de IRI responderam satisfatoriamente em termos de sensibilidade a mudança das condições de rolamento, uma vez que o aumento dos valores de IRI nos trechos 6 e 7 acompanhou a redução dos valores de VSA nos trechos correspondentes.

Após comparar o comportamento distinto dos métodos de avaliação, os trechos foram classificados em termos de conceito, sendo avaliados de Ruim a Ótimo/Bom, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3: Conceitos qualitativos em função do VSA e IRI de cada trecho analisado

| Trecho | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Intervalo (Km) | 0 a 0,6 | 0,6 a 1,2 | 1,2 a 1,8 | 1,8 a 2,4 | 2,4 a 3,0 | 3,0 a 3,6 | 3,6 a 4,2 |
| VSA | Ótimo | Ótimo | Ótimo | Ótimo | Bom | Regular | Regular |
| IRI (mm/m) | Regular | Regular | Regular | Regular | Regular | Ruim | Ruim |

De forma geral, os valores de IRI com conceito Regular e Ruim apresentaram, respectivamente, correspondência com os valores Ótimo/Bom e Regular da avaliação por meio do VSA. Tal fato mostra que o IRI é um parâmetro menos sujeito a subjetividades, apresentando-se, nesse caso, como uma avaliação mais acurada em termos qualitativos. Contudo, ainda é possível notar a correlação dos métodos de avaliação em termo de conceito, o que mostra que o IRI obtido por meio de aplicativos de *smartphone* também é capaz de captar a variação atribuída aos usuários em situações de alteração quanto à suavidade e ao conforto ao rolamento.

Além disso, o IRI permitiu uma análise de maior detalhe da qualidade ao rolamento da via, uma vez que os dados são obtidos em menores distâncias comparadas aos trechos de 600 m definidos para o VSA. Com isso, foi possível observar que nos trechos 6 e 7 com pior qualidade, os intervalos mais críticos estão entre 3.182 m e 3.404 m, e, entre 4.064 m e 4.175 m, como pode ser visto na Figura 6, onde os trechos em verde são considerados bons, os em amarelo, regulares, e os vermelhos, ruins.



Figura 6: Mapa da via baseado na avaliação qualitativa (Google Earth, 2018)

A análise comparativa dos métodos de avaliação procurou certificar se, estatisticamente, havia uma correlação entre os valores IRI e VSA. Para tanto, foi feita uma linha de tendência para os valores de IRI e VSA em relação aos seus trechos correspondentes, sendo obtido um coeficiente de determinação de 0,9262, comprovando que os dados se correlacionam de maneira adequada, conforme mostrado na Figura 7.

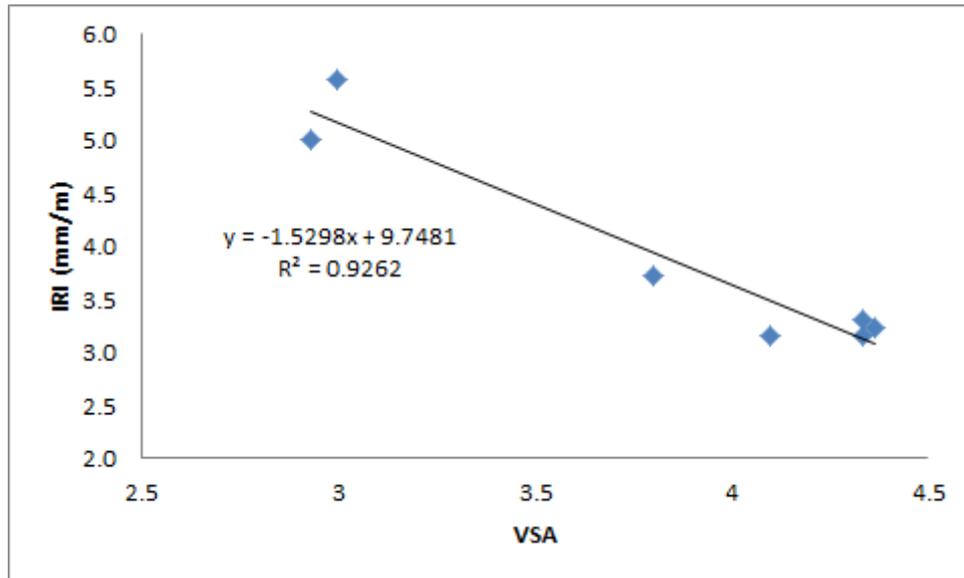


Figura 7: Linha de tendência entre valores médios de VSA e IRI de 2018

Por fim, os dados foram comparados com os valores obtidos no ano de 2017 (Figura 8), com o objetivo de identificar as variações da condição de superfície ocorridas nesse intervalo de tempo. De posse desses valores, pode-se, também, comparar os parâmetros estatísticos entre os dois anos como apresentados na Tabela 4.

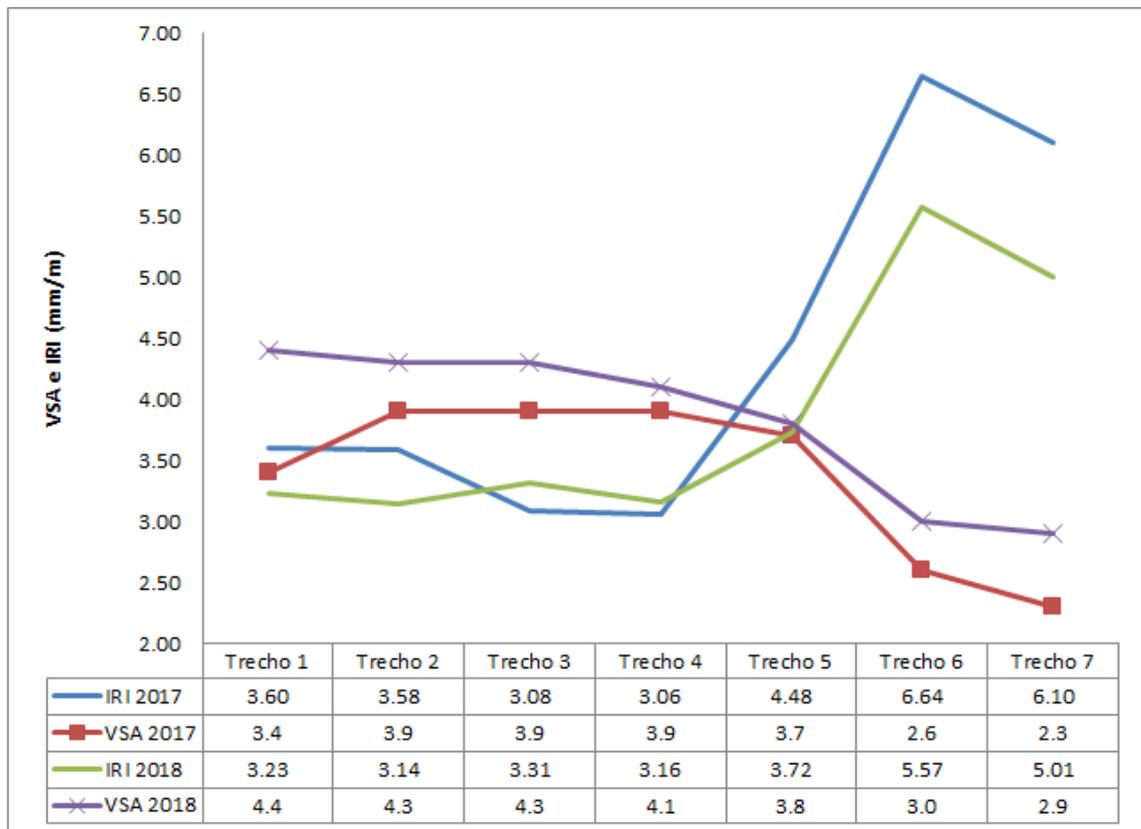


Figura 8: Comparativo dos valores de VSA e IRI dos anos de 2017 e 2018

Tabela 4: Estatística descritiva para os valores de VSA e IRI dos anos de 2017 e 2018

| Parâmetro Estatístico | IRI 2017 | IRI 2018 | VSA 2017 | VSA 2018 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| Média | 4,36 | 3,88 | 3,4 | 3,8 |
| Desvio padrão | 1,46 | 1,00 | 0,7 | 0,6 |
| Coef. de variação (%) | 33,4% | 25,7% | 19,8% | 16,5% |
| Mínimo | 3,06 | 3,14 | 2,3 | 2,9 |
| Máximo | 6,64 | 4,40 | 3,9 | 4,4 |

Foi observado que a avaliação do ano de 2018 apresentou maiores valores de VSA e menores valores de IRI, com menor variabilidade nos resultados, dado que o desvio padrão e o coeficiente de variação foram menores que os valores do ano de 2017. Desta forma, tanto os valores de VSA e de IRI mostraram que o pavimento em 2018, apresentou melhor qualidade em relação ao rolamento quando comparada ao ano anterior, o que pode ser explicado por operações de manutenção na rodovia ocorridas no intervalo de tempo entre as avaliações.

A avaliação do ano 2018 também apresentou maior correlação entres as metodologias empregadas, como exposto na Tabela 5. Isso pode ter ocorrido em razão de uma maior uniformidade nas notas dos avaliadores do ano de 2018, aliada a uma maior concordância da sensibilidade desses usuários às variações da qualidade ao rolamento, quando comparados aos avaliadores do ano de 2017. Outra possibilidade pode estar associada à calibração do *SmartIRI*, tendo em vista que em 2017, o aplicativo ainda estava em fase de desenvolvimento.

Tabela 5: Valores de correlação entre IRI e VSA dos anos de 2017 e 2018

| Coefficiente | VSA e IRI (2017) | VSA e IRI (2018) |
|--------------------------------|------------------|------------------|
| Correlação (R) | -0,9190 | -0,9598 |
| Determinação (R ²) | 84% | 92% |

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos valores de IRI obtidos através do aplicativo *SmartIRI* serem calculados de forma indireta, com base em correlações com o RMSVA, os resultados conseguiram refletir as condições de irregularidade longitudinal da via, sendo sensíveis às variações da qualidade ao rolamento em diferentes trechos da rodovia avaliada, como mostrado nas comparações com a avaliação subjetiva do VSA. Com isso, foi possível verificar que a avaliação funcional de pavimentos com auxílio de *smartphones* é uma alternativa aceitável de análise preliminar, menos sujeita a fatores subjetivos, tais como opinião e sensibilidade de avaliadores.

Verificou-se também uma melhora na classificação da condição de trafegabilidade da rodovia em estudo nos trechos 6 e 7 quando comparado ao ano de 2017, tanto nos valores de IRI quando no VSA, mostrando que a avaliação funcional através do *SmartIRI* também foi sensível às mudanças nas condições do pavimento depois dos serviços de manutenção.

Em geral, o estudo apresentou a avaliação de condições de superfície de pavimentos através de *smartphones* como uma alternativa viável em razão da simples operação e baixo custo. Em consequência, o *SmartIRI* pode ser utilizado como uma ferramenta de auxílio na análise de

tomada decisões de órgão gestores responsáveis pela manutenção e reabilitação de rodovias.

REFERÊNCIAS

- Alessandroni, G.; Klopfenstein L. C.; Delpriori S.; Dromedari M.; Luchetti G.; Paolini B. D.; Seraghihi A.; Lattanzi E.; Freschi V.; Carini A. e Boglioli A. (2014) *Smartroadsense: Collaborative road surface condition monitoring*. International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Service and Technologies, Ubicomm, pp. 210-215.
- Almeida, L. C. (2018). *Aplicativo para Smartphone Destinado à Medição da Irregularidade Longitudinal em Rodovias*. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Barella, R. M. (2008). *Contribuição para a Avaliação da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Perfilômetros Inerciais*. 362 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Bisconsini, D. R. (2016). *Avaliação da Irregularidade Longitudinal dos Pavimentos com Dados Coletados por Smartphones*. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Buttlar, W. G. e Islam, S. (2014) *Measurement of pavement roughness using an Android-based smartphone application*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2457, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 30–38.
- 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, pp. 433-439.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER (1994). *PRO 164/94: Calibração e Controle de Sistemas Medidores de Irregularidade de Superfície de Pavimento*. DNER.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT (2003). *PRO 009/2003: Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos*. DNIT.
- Google Earth (2018). Disponível em: <<https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: Maio de 2018.
- Hanson, T. R. e Cameron, C. (2014). *Can a smartphone collect IRI data?*. Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada – Transportation: Innovations and Opportunities Fredection, NB, Canada, 2012.
- Islam, S., Buttlar, W., Aldunate, R., e Vavrik, W. (2014). Measurement of Pavement Roughness Using Android-Based Smartphone Application. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2457, 30–38. doi:10.3141/2457-04
- Jones, H. e Forslof, L. (2015) Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smart Phones. *Journal of Civil and Architecture*. v. 9, pp. 485-496.
- Lemlin, M. (1998). *Development of Tools for Performance Measurement*. Final Report, PIARC Committee on Performance of Road Administrations (C15), World Road Association.
- Sayers, M., Karamihas, S. (1998). *Little Book of Profiling*. Basic information about measuring and interpreting road profiles, University of Michigan.
- Universidad de la República (2015). Disponível em: <<https://www.fing.edu.uy/node/11851/perfilometro>>. Acesso em: Maio de 2018.
- Wightman, D. C., Stannard, E. S., Dakin, J. (2000). *Software user guide: HDM-4*. Paris: PIARC. The highway development and management series, v. 3.

Pedro Guilherme Pinheiro Santos Fernandes (pedrofernandes@det.ufc.br)

Pedro Henrique Fontenele Costa Carvalho (pedrocarvalho@det.ufc.br)

Ernesto Ferreira Nobre Júnior (nobre@ufc.br)

Francisco Heber Lacerda de Oliveira (heber@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará

Campus do Pici - Bloco 703 - 60440-554, Fortaleza, CE, Brasil