



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RAIMUNDO IGOR MARQUES DUARTE

**ANÁLISE COMPARATIVA DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL POR FAIXAS
DE TRÁFEGO NA RODOVIA CE-401 OBTIDA POR APLICATIVO PARA
*SMARTPHONES***

FORTALEZA

2018

RAIMUNDO IGOR MARQUES DUARTE

ANÁLISE COMPARATIVA DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL POR FAIXAS DE TRÁFEGO NA RODOVIA CE-401 OBTIDA POR APLICATIVO PARA *SMARTPHONES*

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

D874a Duarte, Raimundo Igor Marques.
Análise comparativa da irregularidade longitudinal por faixas de tráfego na rodovia ce-401 obtida por aplicativo para smartphones / Raimundo Igor Marques Duarte. – 2018.
68 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira.

1. Avaliação funcional. 2. Irregularidade longitudinal. 3. Smartphone. 4. Rodovia. I. Título.

CDD 620

RAIMUNDO IGOR MARQUES DUARTE

ANÁLISE COMPARATIVA DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL POR FAIXAS DE TRÁFEGO NA RODOVIA CE-401 OBTIDA POR APLICATIVO PARA *SMARTPHONES*

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil

Aprovada em: 16 / 11 / 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Arielle Elias Arantes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Lucas Cavalcante De Almeida
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha saúde e todos os livramentos durante a graduação.

Aos meus pais Célio e Aldeny, por serem subleito, sub-base, base e revestimento do pavimento que me leva aonde meus sonhos querem chegar. Sem eles, eu não sei até onde poderia ter chegado, mas aqui, com certeza não.

Aos meus irmãos: Ian, Mariá e Aimê por aguentarem meus estresses, pela força e carinho de sempre.

Ao meu orientador, professor Heber, por todas as vezes que entrei na sua sala desesperado (muitas vezes sem demonstrar), mas saía aliviado. Sem seus conselhos, ideias, paciência e disponibilidade, a elaboração deste trabalho seria bem mais difícil.

A professora Verônica, por ter ensinado de uma forma bem humana como elaborar um trabalho científico, muito importante para mim que nunca tinha feito algo parecido.

Ao Lucas, pela paciência, camaradagem e pelos dados concedidos para a elaboração deste trabalho.

A Engevias, na pessoa do Filipe Braid, pela atenção e fornecimento de dados e suporte técnico para este estudo.

Aos meus amigos de Juazeiro do Norte (saudades), por terem sido minha segunda família durante 3 anos de graduação, a adaptação em uma cidade totalmente desconhecida foi muito agradável com vocês.

Aos meus amigos de Fortaleza, obrigado pelo acolhimento a este aventureiro que chegou de paraquedas já no finalzinho do curso.

RESUMO

A irregularidade longitudinal é um dos parâmetros mais utilizados na avaliação da qualidade funcional de um pavimento rodoviário. Atualmente, os órgãos gestores de pavimentos têm o desafio de desenvolver um método que obtenha dados de irregularidade longitudinal dos pavimentos de maneira precisa e ao mesmo tempo utilizando equipamentos de baixo custo de aquisição e fácil operação. Isso faz com que esses órgãos utilizem, na maioria das vezes, avaliações subjetivas baseadas nas opiniões de avaliadores, que são pouco precisas, além de classificar a qualidade do conforto ao rolamento da rodovia de maneira global, não considerando alguns trechos e faixas de tráfego específicos em que a irregularidade é maior em relação à média da rodovia. O estudo do uso de aplicativos para *smartphones* como alternativa aos métodos tradicionais de avaliação da qualidade funcional das rodovias vem sendo desenvolvido nas últimas décadas em vários países, pois é um método de baixo valor aquisitivo, de fácil operação e de acurácia melhor que as avaliações subjetivas. Nesta pesquisa foi utilizado o aplicativo *SmartIRI*, desenvolvido na Universidade Federal do Ceará (UFC), para realizar uma análise comparativa da qualidade funcional entre as 6 faixas de tráfego numa extensão de 4,1 km da Rodovia CE-401. Os resultados identificaram as faixas que apresentaram a pior qualidade funcional e 4 trechos comuns às 6 faixas onde a qualidade foi menor em relação ao restante do trecho. Com o trabalho espera-se auxiliar os órgãos gestores rodoviários no processo de tomada de decisão para as estratégias de manutenção e reabilitação da condição funcional e, por consequência, na qualidade do conforto ao rolamento dos usuários.

Palavras chave: Avaliação funcional. Irregularidade longitudinal. Smartphone. Rodovia.

ABSTRACT

The longitudinal irregularity is one of the parameters most used in the evaluation of the functional quality of a road pavement. Currently, the road management agencies have the challenge of developing a method that obtains longitudinal pavement irregularity data accurately and at the same time using equipment of low acquisition cost and easy operation. This makes these agencies use subjective assessments based on evaluators' opinions, which are not very precise, as well as to classify the quality of the comfort to the rolling of the highway in a global way, not considering some specific intervals and traffic lanes in which the irregularity is greater in relation to the average of the highway. The study of the use of smartphone applications as an alternative to the traditional methods of evaluating the functional quality of highways has been developed in the last decades in several countries, since it is a method of low acquisition value, of easy operation and of better accuracy than the subjective evaluations . In this study, the SmartIRI application, developed at the Federal University of Ceará (UFC), was used to perform a comparative analysis of the functional quality of 6 traffic lanes in a 4.1 km extension on the CE-401 Highway. The results identified the lanes that presented the worst functional quality and 4 intervals common to this 6 lanes where the quality was lower in relation to the rest of the extension. This research is expected to support evaluating the road management agencies in the decision-making process for the strategies of maintenance and rehabilitation of the functional condition and, consequently, the quality of the comfort of the rolling to the users.

Keywords: Functional evaluation. Longitudinal irregularity. Smartphone. Highway.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interação entre os defeitos em rodovias pavimentadas	19
Figura 2 – Modelo quarto de carro	21
Figura 3 – Equipamentos de classe I, Dipstick (esquerda) e Walking Profiler (direita)	23
Figura 4 – Perfilômetro a laser	24
Figura 5 – Equipamento tipo resposta	25
Figura 6 – Ficha de avaliação de serventia.....	26
Figura 7 – Classificação dos <i>smartphones</i> em relação aos outros equipamentos	27
Figura 8 – Tela capturada do Roadroid de uma medição feita no meio da Suécia.....	32
Figura 9 – Esquema de funcionamento do Roadlab	33
Figura 10 – Suporte e posição que o aparelho deve ficar durante a avaliação	35
Figura 11 – Arquivo com os dados coletados pelo <i>SmartIRI</i>	36
Figura 12 – Mapa gerado pelo <i>SmartIRI</i>	37
Figura 13 – Rodovia CE-401	39
Figura 14 – Configuração da Rodovia CE-401	40
Figura 15 – Classificação da Rodovia CE-401.....	41
Figura 16 – Trecho com 4,1 km de extensão avaliado	42
Figura 17 – Suporte para o aparelho e o <i>smartphone</i>	43
Figura 18 – Enumeração das faixas de tráfego.....	44
Figura 19 – Exemplo de planilha com dados obtidos na faixa F1.....	45
Figura 20 – Trechos específicos ao longo da Rodovia CE-401.....	50
Figura 21 – Primeiro viaduto (Sentido 1).....	51
Figura 22 – Primeiro viaduto (Sentido 2).....	51
Figura 23 – Segundo viaduto (Sentido 1).....	52
Figura 24 – Segundo viaduto (Sentido 2).....	52
Figura 25 – Degrau na interseção do pavimento com o primeiro viaduto (Sentido 1).....	53
Figura 26 – Degrau na cabeceira do primeiro viaduto (Sentido 2)	53
Figura 27 – Degrau na interseção do pavimento com o segundo viaduto (Sentido 1).....	54
Figura 28 – Degrau na interseção do pavimento com o segundo viaduto (Sentido 2).....	54
Figura 29 – Trecho em frente ao terminal de passageiros do Aeroporto Internacional Pinto Martins (Sentido 1).....	55
Figura 30 – Trecho em frente ao terminal de passageiros do Aeroporto Internacional Pinto Martins (Sentido 2).....	55

Figura 31 – Diferença na textura entre as faixas de tráfego (Sentido 1)	56
Figura 32 – Diferença na textura entre as faixas de tráfego (Sentido 2)	56
Figura 33 – Passarela de pedestre na Rodovia CE-401	58
Figura 34 – Remendos devido as sondagens	58
Figura 35 - Sinalização horizontal retirada.....	59
Figura 36 – Trecho crítico 4 (Sentido 1).....	60
Figura 37 – Trecho crítico 4 (Sentido 2).....	60
Figura 38 – Remendos e trincas transversais (Sentido 1).....	61
Figura 39 – Remendos (Sentido 1)	61
Figura 40 – Remendos e trincas longitudinais (Sentido 1).....	62
Figura 41 – Trinca com erosão nas bordas (Sentido 1)	62
Figura 42 – Trincas couro de jacaré (Sentido 2).....	63
Figura 43 – Trinca com erosão nas bordas (Sentido 2)	63
Figura 44 – Remendos e trincas (Sentido2)	64
Figura 45 – Remendos e trincas transversais (Sentido 2).....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condição do pavimento em função do IGG	17
Tabela 2 – Classificação do Roadroid	31
Tabela 3 – Classificação proposta pelo <i>SmartIRI</i>	37
Tabela 4 – Comparação das classificações propostas pelo <i>SmartIRI</i> e HDM-4.....	37
Tabela 5 – VMDa da Rodovia CE-401	40
Tabela 6 – Organização dos dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego	46
Tabela 7 – Análise geral da qualidade das faixas de tráfego	48
Tabela 8 – Relação entre irregularidade e tráfego de veículos pesados.	49
Tabela 9 – Classificação da textura	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivos	14
1.3	Método de pesquisa	14
1.4	Estruturação do trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Avaliação funcional	16
2.2	Irregularidade Longitudinal	17
2.2.1	IRI (International Roughness Index - Índice de Irregularidade Internacional)	20
2.3	Classe dos equipamentos medidores da irregularidade longitudinal	21
2.3.1	Classe I	22
2.3.2	Classe II	23
2.3.3	Classe III	24
2.3.4	Classe IV	25
2.3.5	Conveniência e Acurácia	27
2.4	Uso de aplicativos para smartphones para calcular o IRI	28
2.5	Aplicativos para smartphones	29
2.5.1	Roadroid	30
2.5.2	Roadlab	32
2.5.3	SmartIRI	35
3	ESTUDO DE CASO: RODOVIA CE-401	39
3.1	Descrição da Rodovia CE-401	39
3.2	Levantamento dos dados	42
3.3	Análise descritiva quantitativa dos dados	48
3.4	Análise dos dados em trechos específicos	50
3.4.1	Trecho crítico 1 e 3	51
3.4.2	Trecho crítico 2	55
3.4.3	Trecho crítico 4	60
4	CONCLUSÕES	65
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

Uma malha rodoviária com adequado padrão de serventia é fundamental para o crescimento da economia do país e qualidade de vida da população. Entretanto, no Brasil apenas 12,2% da extensão rodoviária nacional é pavimentada, e destes, 48,3% apresentam problemas nos pavimentos. Assim, têm-se cerca de 25 km de rodovia pavimentada para cada 1000 km² de área; muito aquém de países como Estados Unidos, com cerca de 438,1km, China com 359,9km e Rússia com 54,3 km Confederação Nacional do Transporte (2017).

De acordo com Ceará (2017), o estado do Ceará possui 55.216 km de malha rodoviária, com cerca de 9.986 km pavimentados (o que representa 18% do total). A jurisdição das rodovias é, majoritariamente, dos municípios com 70%, restando, respectivamente, para Estado e União, 23% e 7%. O estado de conservação da malha rodoviária estadual está classificado como bom, em cerca de 74% do total, classificação obtida pelo Levantamento Visual Contínuo (LVC).

Refletir sobre os dados anteriores é relevante pois, para Bernucci *et al.* (2008) o estado de conservação da superfície do pavimento é um parâmetro de avaliação funcional muito importante, estando relacionado com o conforto dos usuários, tempo de viagem e redução do custo operacional veicular. Ou seja, investir na melhoria e na manutenção das condições de rolamento do pavimento não é uma despesa e, sim, uma economia para gestores e usuários ao longo do tempo.

A avaliação da condição funcional dos pavimentos tem como um dos objetivos indicar melhores soluções de manutenção e reabilitação, garantindo maior segurança e conforto aos usuários. Nessa avaliação obtêm-se a irregularidade longitudinal de um pavimento, pois ela é um parâmetro importante para caracterizar a qualidade funcional da malha rodoviária.

Sabe-se que a irregularidade longitudinal, além de afetar a segurança e o conforto dos usuários, também compromete a vida útil do pavimento, pois altera a aceleração dinâmica do veículo. Neste sentido, a obtenção de dados sobre as condições dos pavimentos é uma atividade importante que deve alimentar os Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP), e com isso, auxiliar os gestores no processo de tomada de decisão quanto às prioridades na utilização dos recursos destinados à manutenção e reabilitação de pavimentos.

Uma efetiva gestão de pavimentos baseia-se em planejar manutenções a fim de prevenir possíveis danos ao pavimento, que possam dificultar ou até mesmo interromper o tráfego na via. A identificação de trechos críticos (onde os defeitos estão mais agravados) e a

análise de suas causas é fundamental para a elaboração de estratégias de manutenção e reabilitação, que tem por finalidade manter aceitáveis as condições de tráfego, prolongando a vida útil dos pavimentos. Para se determinar esses trechos críticos, precisam-se de métodos os mais acurados e menos laboriosos possíveis.

Por definição, irregularidade longitudinal é a soma dos desvios da superfície do pavimento em relação a uma superfície de referência ideal que afeta a qualidade de rolamento e a drenagem superficial. Além da dinâmica das cargas e dos veículos, ela afeta diretamente o conforto do usuário e a vida útil do pavimento (KARAMIHAS E SAYERS, 1998). Existe um índice internacional para a medida da irregularidade, designado de Índice de Irregularidade Internacional, do inglês, *International Roughness Index* (IRI), que é um índice estatístico, expresso em m/km ou mm/m, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação a de projeto.

Trincas, afundamento em trilhas de rodas, escorregamento de revestimento asfálticos, painelas, remendos, entre outros defeitos, são causadores da irregularidade longitudinal. Isso é o que torna a irregularidade longitudinal um indicador adequado dos defeitos no pavimento, pois ela é produto de vários danos ao mesmo.

Irregularidade longitudinal gera custos para as autoridades rodoviárias: custos de capital e manutenção, que dependem do padrão de manutenção selecionado para a rede viária e custos com o usuário da via: custos operacionais do veículo (combustível, pneus, óleo, peças sobressalentes, etc.), custos do tempo de viagem, custos econômicos de acidentes e custos socioambientais (emissão, ruído do tráfego, etc.). Portanto, a irregularidade é um indicador globalmente aceito para monitorar a serventia e o desempenho dos pavimentos rodoviários. É um indicador-chave de desempenho que é usado no gerenciamento e planejamento de manutenção e monitoramento de órgãos rodoviários (DOUANGPHACHANH, 2014).

Com o advento das novas tecnologias, novos equipamentos estão sendo utilizados para mensurar a irregularidade longitudinal. Sabe-se que já existem vários métodos de medição e, também, que existem diferenças entre os resultados desses métodos, principalmente no que diz respeito à acurácia e à conveniência. A maioria dos órgãos rodoviários, de acordo com Tomiyama *et al.* (2012), especialmente para os órgãos menores, frequentemente monitoram e determinam a condição do pavimento ainda por meio de inspeções visuais e avaliações subjetivas.

Cabe ao gestor de pavimento decidir o mais viável e conveniente dentre os métodos existentes para a obtenção de dados de IRI. Essa tomada de decisão é precedida da análise de

vários fatores, dentre eles, a conveniência e a acurácia, além de outros fatores que devem ser analisados, tais como: custo, viabilidade, praticidade e reprodutibilidade.

1.1 Justificativa

A justificativa deste trabalho leva em conta a subjetividade das avaliações da qualidade de rolamento dos pavimentos, sobretudo as realizadas pela maioria dos órgãos rodoviários do Brasil. Essas avaliações, em geral, utilizam poucos equipamentos automatizados e intensa dependência do ser humano para sua execução. Quando não se valem das avaliações subjetivas e necessitam de dados mais precisos, os órgãos utilizam equipamentos caros e métodos laboriosos para avaliação funcional das rodovias.

Observa-se, também, o fato das análises realizadas pelos órgãos rodoviários não levarem em consideração trechos específicos onde as irregularidades são bem maiores que a média da rodovia. Nesse caso, a qualidade da rodovia é, então, classificada de maneira global. Isso pode proporcionar uma falsa impressão ao usuário e aos gestores rodoviários, quanto a qualidade de conforto ao rolamento da rodovia e a necessidade de se realizar manutenções preventivas, pois uma rodovia pode ser classificada de boa qualidade funcional mesmo apresentando alguns trechos específicos regulares ou ruins.

O uso de aplicativos para *smartphones* na avaliação funcional dos pavimentos é uma alternativa para a solução desses problemas. Os aplicativos além de serem de baixo valor aquisitivo e de fácil operação, são mais acurados que os métodos subjetivos e fornecem dados de irregularidade longitudinal, no caso do aplicativo utilizado nessa pesquisa, a cada 100 metros, aproximadamente. Com esses dados, pode-se identificar trechos críticos em que a irregularidade é mais acentuada em relação aos demais trechos da rodovia, então, o gestor de pavimento poderá analisar as possíveis causas desse aumento de irregularidade em trechos específicos.

Além de determinar as irregularidades em trechos específicos, os aplicativos, devido a sua praticidade e rapidez operacional no levantamento de campo, tornam viável avaliações funcionais por faixas de tráfego, possibilitando uma análise comparativa da irregularidade das mesmas. Assim pode-se observar qual faixa de tráfego está em piores condições funcionais, determinando as possíveis causas desse fenômeno. Possibilitando ao tomador de decisão a indicação de medidas corretivas específicas para o trecho.

Nessa pesquisa foi feita uma análise comparativa da qualidade de rolamento por faixas de tráfego através de dados de irregularidade longitudinal obtidos pelo aplicativo *SmartIRI* desenvolvido na Universidade Federal do Ceará (UFC) por Almeida (2018). A avaliação funcional foi realizada em Fortaleza, estado do Ceará, na Avenida Senador Carlos Jereissati, que é nomeada oficialmente segundo Ceará (2017) por Rodovia CE-401, numa extensão de 4,1km.

1.2 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a irregularidade longitudinal das seis faixas de tráfego das duas pistas da Rodovia CE-401, numa extensão de 4,1 km, através de dados obtidos pelo aplicativo *SmartIRI* evidenciando a existência de determinados trechos críticos quanto ao conforto ao rolamento.

Como objetivos específicos podem ser descritos:

- a) determinar as faixas de tráfego com melhores e piores condições de conforto ao rolamento;
- b) identificar trechos específicos com maiores valores de IRI nas faixas de tráfego;
- c) levantar hipóteses que justifiquem os altos valores de IRI nesses trechos.

1.3 Método de pesquisa

Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica sobre pesquisas que desenvolveram aplicativos de *smartphones* para avaliação funcional de pavimentos na literatura internacional e nacional (artigos, teses, dissertações, monografias e livros). Estes estudos forneceram a fundamentação teórica e conceitos necessários para o desenvolvimento desta pesquisa.

Em seguida, foi realizado um estudo mais específico sobre o desenvolvimento do *SmartIRI*, aplicativo para *smartphone* desenvolvido por Almeida (2018), e utilizado nesta pesquisa, no tocante a sua metodologia e operação.

Feito o estudo do aplicativo, foi então realizado o levantamento de dados na Avenida Senador Carlos Jereissati (Rodovia CE-401). A rodovia possui uma extensão de 6 km com duas pistas de rolamento, separadas por canteiro central, contendo 3 faixas de tráfego cada, com revestimento de Concreto Asfáltico Usinado a Quente, conforme Ceará (2017). Com o objetivo de comparar o IRI por faixa de tráfego, foi realizado um levantamento em cada uma

das seis faixas de tráfego.

O levantamento foi realizado em 5 de agosto de 2018, entre 10h e 12h em um trecho de 4,1 km da Rodovia CE-401, esse trecho foi escolhido por apresentar uma concentração de defeitos no pavimento permitindo uma análise detalhada dos mesmos, além de estar entre retornos, o que facilitou o levantamento.

Foi feito um levantamento por faixa, obtendo dados de IRI a cada 100 metros por meio do aplicativo *SmartIRI*. Com os dados obtidos, pode-se realizar uma análise comparativa da irregularidade longitudinal e da qualidade funcional entre as faixas de tráfego. A discussão dessas comparações foi feita através de análises gráficas e construção de tabelas por meio do *software* Excel.

No dia 9 de setembro entre 15h e 18h, foi feita uma visita de campo e realizado um relatório fotográfico, por meio do qual, apresentaram-se possíveis hipóteses que explicam o motivo de determinadas faixas de tráfego possuírem irregularidades maiores que as outras faixas de tráfego da mesma pista de rolamento. Ou mesmo, o motivo de alguns trechos específicos apresentarem IRI bem maiores que os demais trechos no segmento completo de 4,1km estudado.

1.4 Estruturação do trabalho

O trabalho está dividido em quatro capítulos. Além deste capítulo introdutório, o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica do trabalho, por meio de artigos internacionais e nacionais, teses, dissertações que abordam conceitos, definições e metodologias utilizadas nesta pesquisa.

No Capítulo 3 está exposto o estudo de caso para a Avenida Senador Carlos Jereissati (Rodovia CE-401). Descreve-se a realização do levantamento dos dados de IRI na avenida, em seguida a análise comparativa da irregularidade longitudinal por faixa de tráfego e a discussão dos resultados obtidos.

No Capítulo 4 estão as conclusões para este estudo de caso obtidas através da análise dos resultados no capítulo anterior e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção será discutida a avaliação funcional de pavimentos e as duas formas que ela pode ser realizada (objetiva e subjetiva), em seguida o conceito de irregularidade longitudinal é apresentado juntamente com a influência desse parâmetro na qualidade funcional do pavimento. Logo depois será exposto o índice que mensura a irregularidade longitudinal e os tipos de equipamentos utilizados na obtenção desse índice com ênfase na conveniência e acurácias desses equipamentos. Para finalizar será apresentado um breve histórico do uso de aplicativos de celulares na avaliação funcional e o aplicativo utilizado nesta pesquisa.

2.1 Avaliação funcional

Do ponto de vista do usuário, o que importa é o estado em que se encontra a superfície do pavimento, pois o conforto ao rolamento é afetado pelos defeitos ou pela irregularidade na superfície. Esses defeitos acarretam maiores custos operacionais com peças de manutenção do veículo, combustível, tempo de viagem e pneus. Modelos empíricos mostram a correlação entre a irregularidade e os custos operacionais (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Desempenho funcional refere-se a uma de suas funções que é a capacidade de proporcionar um conforto e suavidade ao rolamento por meio de uma superfície com serventia adequada. No passado a condição funcional do pavimento era definida por avaliações subjetivas, embora ainda seja feita, atualmente vários equipamentos foram desenvolvidos para medirem a irregularidade longitudinal e a expressarem em forma do índice IRI. Os pavimentos devem ser reabilitados quando atingirem um valor de serventia e irregularidade (BRASIL, 2006).

A avaliação funcional é feita de duas formas: de maneira objetiva e subjetiva que são regulamentadas respectivamente pelos procedimentos: Brasil (2003a) e Brasil (2003b). A avaliação subjetiva da qualidade funcional será discutida na seção referente aos equipamentos Classe IV, que trata desse tipo de avaliação.

Conforme Brasil (2003a), a avaliação objetiva determina o Índice de Gravidade Global (IGG), que permite classificar o estado de um pavimento através da incidência de defeitos de superfície, atribuindo-lhe conceitos segundo a Tabela 1. O cálculo do IGG, baseia-se na atribuição de pesos aos defeitos conforme suas influências na serventia do pavimento, por exemplo: trincas de Classe I e panelas tem, respectivamente, peso 0,2 e 1,0.

Tabela 1 – Condição do pavimento em função do IGG

Conceito	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: Brasil (2003a)

Trechos de 20 metros são selecionados de acordo com características homogêneas: tipo de revestimento, volume de tráfego e condições climáticas. A frequência relativa dos defeitos em cada trecho é calculada juntamente com as flechas das trilhas de roda. O somatório do produto entre as frequências (e também da média e variância das flechas) pelos pesos de cada defeito resulta no Índice de Gravidade Individual (IGI), a soma dos IGI resulta no IGG (BRASIL, 2003a).

2.2 Irregularidade Longitudinal

A percepção da qualidade do pavimento é perceptível ao usuário de maneira visual (trincas, panelas, remendos, entre outros) e pela experimentação da aceleração vertical, durante a viagem, que por sua vez depende do tipo suspensão do veículo, sua massa, velocidade e condições de irregularidade longitudinal no pavimento (BISCONSINI, 2016).

Irregularidade longitudinal, segundo Brasil (2006), por ser o conjunto de desvios verticais da superfície do pavimento em relação a um plano de referência, aumentam e alteram a ação da carga dos veículos prejudicando a qualidade do rolamento. A deterioração da estrutura do pavimento é causada pelo aumento da ação das cargas dinâmicas dos veículos sobre a superfície do pavimento devido à presença de irregularidade. Uma certa particularidade da irregularidade longitudinal é o fato que, a partir de um certo valor inicial, ela tende a crescer exponencialmente, já que os desvios verticais da superfície do pavimento afetam a componente dinâmica das forças, contribuindo para o aumento da própria irregularidade.

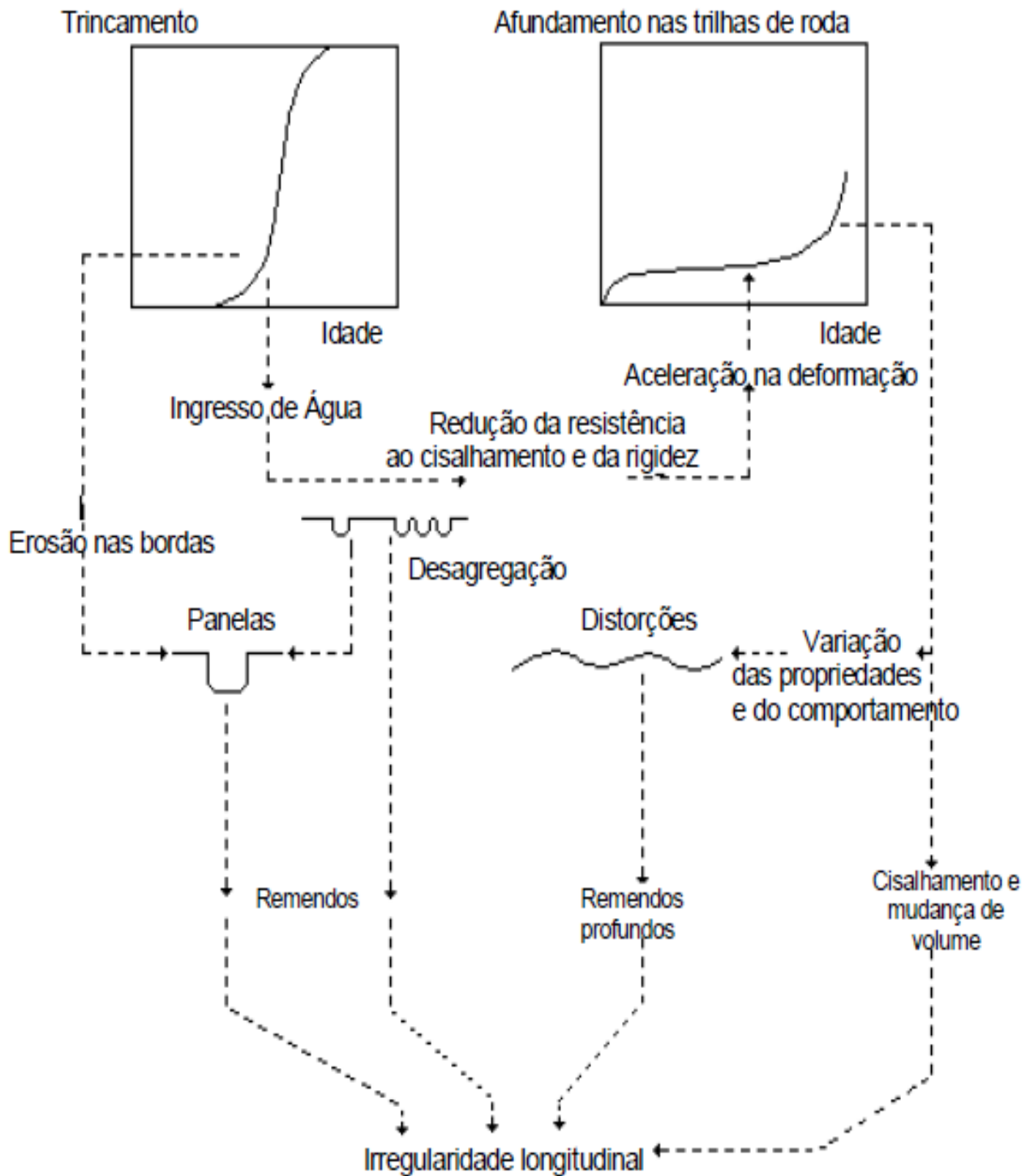
Isso é comprovado pelo resultado da pesquisa da *Hawaii Asphalt Paving Industry*, citado em Barella (2008), a qual acompanhou a evolução da irregularidade durante 2 anos, em aproximadamente 3.000 km de faixas de rolamento. Nesse caso, um pavimento inicialmente

com IRI igual a 0,5 m/km, ao fim de 2 anos estava com IRI aproximadamente igual a 0,55 m/km, enquanto um pavimento com IRI inicial de 2,0 m/km, já possuía ao final de 2 anos, IRI igual a 2,45 m/km. No primeiro caso, houve um aumento de apenas 10% no valor de IRI, enquanto no segundo esse valor subiu para 22,5%, ou seja, mais do que o dobro em relação ao primeiro. Diante de tal constatação, trechos com irregularidade bastante elevada, devem ter uma atenção maior no que diz respeito a manutenções preventivas em relação a trechos com irregularidade menor, pois a evolução da deterioração do pavimento é maior naqueles do que nestes.

Conforme Brasil (2011), a irregularidade longitudinal nos pavimentos não deve ser entendida apenas como mais um defeito de superfície, mas como um parâmetro que retrata as consequências geradas às condições de rolamento devido a uma série de patologias. Isso vai de acordo com González *et al.* (2008) que considera a irregularidade longitudinal um termo amplo que incorpora tudo desde buraco e rachaduras até desvios aleatórios no perfil.

Ainda conforme Brasil (2006), há uma interação entre os defeitos dos pavimentos. Um exemplo de tal interação é que quando há trincamentos, a água infiltra nas camadas de base, reduzindo a rigidez e a resistência ao cisalhamento do pavimento, ocasionando afundamentos nas trilhas de roda. O mesmo trincamento associado à desagregação irá originar as panelas. As interações estão esquematizadas na Figura 1.

Figura 1 – Interação entre os defeitos em rodovias pavimentadas



Fonte: Brasil (2006).

Não por acaso, a irregularidade é apontada como principal defeito na avaliação de pavimentos. Pois ela é resultado das interações das mais diversas patologias que comprometem as finalidades para qual o pavimento é construído: proporcionar suavidade, conforto e segurança no rolamento.

2.2.1 IRI (*International Roughness Index - Índice de Irregularidade Internacional*)

Segundo Barella (2008), vários índices foram criados para representar a irregularidade longitudinal de um trecho pavimentado. Alguns destes índices eram muito objetivos, pois procuravam, realmente, medir os desvios verticais em relação a uma superfície ideal imaginária. Outros buscaram avaliar objetivamente o sentimento de desconforto do usuário causado pela irregularidade durante o rolamento em determinado pavimento. Há ainda os que desenvolveram métodos de avaliação subjetiva, as quais são realizadas por técnicos ou pessoas comuns, que simplesmente atribuíam notas à condição do pavimento. Alguns índices eram específicos de alguns equipamentos, o que complicava a comparação das avaliações. Para acabar com o problema da comparação, subjetividade e dependência da medida com o medidor, foi estabelecido o Índice de Irregularidade Internacional conhecido pelo acrônimo IRI, do inglês *International Roughness Index*.

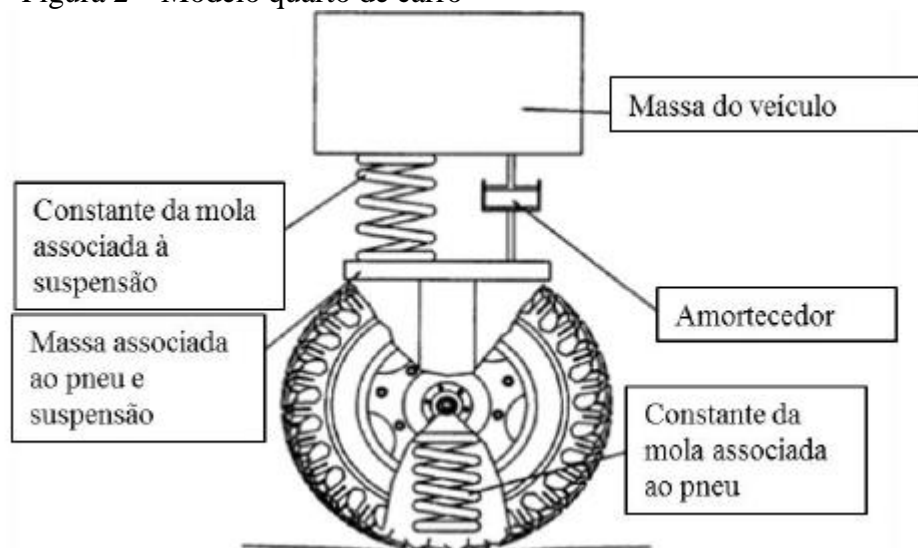
Segundo Gillespie, Paterson e Sayers (1986) o IRI é assim chamado porque foi um produto do experimento internacional denominado de Experiência Internacional de Rugosidade das Estradas do inglês *International Road Roughness Experiment (IRRE)*, conduzido por equipes de pesquisa do Brasil, Inglaterra, França, Estados Unidos e Bélgica, com o propósito de eleger um índice unificado internacionalmente. O IRRE foi realizado em Brasília, no Brasil, em 1982, e envolveu a medição controlada da irregularidade longitudinal para várias rodovias sob variadas condições, instrumentos e métodos. O objetivo era eleger a escala que representasse o índice internacional. A escala de irregularidade escolhida para ser o IRI foi a que melhor satisfizesse os critérios de ser estável no tempo, transportável e relevante, além de ser prontamente mensurável por todos os praticantes.

Segundo Sayers, Gillespie e Queiroz (1986), essa escala usa um modelo matemático de um quarto de carro para calcular o IRI, que é o quociente do movimento linear acumulado da suspensão dividido pelo comprimento do perfil longitudinal da estrada. Assim, o IRI tem uma unidade de medida de inclinação, como mm/m, m/km ou in/mi, por exemplo. O IRRE concluiu que os fatores que afetam o IRI são:

- a) veículo de medição, que pode ser minimizado pela calibração;
- b) velocidade, que também pode ser minimizada pela calibração;
- c) tipo de pavimento.

O modelo quarto de carro é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – 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 (método do Nível e Mira). Segundo Bernucci *et al.* (2008), IRI é um índice internacional para a medida da irregularidade, que é expresso em m/km, quantificando os desvios da superfície do pavimento em relação a de projeto em razão da extensão do trecho analisado. E tem sido utilizado como ferramenta de controle de obras e aceitação de serviços em alguns países, tais como Suécia e Japão.

O IRI também pode ser calculado indiretamente através da resposta da suspensão de um veículo, ao passar pelo trecho. De acordo com Karamihas e Sayers (1998), o cálculo do IRI é baseado na acumulação dos deslocamentos em valor absoluto, da massa superior em relação à massa inferior (em milímetros, metros ou polegadas) de um modelo de veículo, dividido pela distância percorrida (em metros, quilômetros ou milhas), quando o veículo está trafegando a uma velocidade de 80km/h, dessa forma, o cálculo do IRI é realizado com base na medição da resposta de um veículo às condições de superfície.

2.3 Classe dos equipamentos medidores da irregularidade longitudinal

Há vários equipamentos utilizados para se medir a irregularidade longitudinal em termos de IRI. Eles são divididos em quatro classes que serão abordadas nesta seção. Segundo Bernucci *et al.* (2008), a irregularidade pode ser levantada com medidas topográficas por 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 a suspensão. Essa terminologia se deve ao fato desses equipamentos medirem mais a resposta da suspensão dos veículos causada pela irregularidade do que esta propriamente dita.

Karamihas e Sayers (1998) classificam as avaliações de pavimentos da seguinte forma:

- a) avaliação direta: aquela realizada por equipamentos de Classe I (nível e mira, Dipstick, perfilômetro do TRL, ROMDAS z-250, ARRB walking profilometer, etc) e Classe II (GMR type Inertial Profilometer e demais equipamentos com sensores a laser, APL Trailer francês, etc.);
- b) avaliação indireta: aquela realizada por equipamentos de Classe III (TRL Bump Integrator, Maysmeter, Merlin, o Roadmaster, ROMDAS, Roughmeter, Rolling straight edge, etc.).

2.3.1 Classe I

Geradores de alta precisão de medição do perfil. De acordo com Hirpahuanca (2016), os equipamentos Classe I baseiam-se nas medições de perfis topográficos de grande precisão. Sendo esses os métodos mais exatos que existem para determinação do IRI. As cotas do perfil são obtidas em contato direto entre equipamento e pavimento, como é o caso do Nível e mira.

Os equipamentos de Classe I caracterizam-se por estabelecer a irregularidade através de medidas espaçadas a cada 250mm e cotas com uma precisão de 0,5mm. Os métodos desta classe são aqueles que produzem medidas de tão alta qualidade de modo que a reprodutibilidade do IRI não pode ser melhorada. A repetibilidade dos resultados do levantamento nessas condições é de cerca de 0,3 m/km em estradas pavimentadas e cerca de 0,5 m/km para todos os outros tipos de estradas.

O IRI obtido por esses equipamentos é baseado no perfil longitudinal do trecho, pois sua obtenção consiste na modelagem matemática do perfil medido. É repetível e estável ao longo do tempo. Por outro lado, por ser um método laborioso, não é viável realizar uma medição em um trecho muito longo, no entanto os dados obtidos servem de referência para a calibração de equipamentos do tipo resposta em trechos curtos.

A seguir, é apresentado dois equipamentos desta classe na Figura 3.

Figura 3 – Equipamentos de classe I, Dipstick (esquerda) e Walking Profiler (direita)



Fonte: Bisconsini (2016).

2.3.2 Classe II

Os equipamentos de Classe II, como o perfilômetro a *laser*, também calculam o IRI através do perfil longitudinal do trecho. Todavia, o equipamento realiza a medição do perfil, sem entrar em contato com a superfície do pavimento. O *laser* fica instalado no para-choque de um veículo, calculando assim os deslocamentos da suspensão do veículo em razão da distância percorrida em (mm/m) ou (m/km), como ilustrado na Figura 4. É um método mais conveniente para trechos longos, porém menos preciso, mais oneroso (tendo em vista os custos de obtenção, manutenção e operação do perfilômetro) e de complexa instalação e operação em relação aos equipamentos de Classe I.

Hirpahuanca (2016) afirma que tanto os métodos de Classe I, como os de Classe II, determinam a irregularidade em termos de IRI fazendo uso de programas computacionais baseados em algoritmos matemáticos, que tem como dados de entrada, as cotas do perfil.

Figura 4 – Perfilômetro a laser



Fonte: Douangphachanh (2014).

2.3.3 Classe III

A classe dos equipamentos do tipo resposta. Nesta classe, enquadram-se os métodos que recorrem ao uso de equações de correlação para a estimar o valor do IRI. Estes métodos estabelecem a irregularidade baseados na determinação do movimento relativo em que o sistema de suspensão do veículo é submetido ao trafegar sobre o pavimento. Para Hirpahuanca (2016), as medições efetuadas pelo método Classe III dependem das características dinâmicas dos veículos, para proporcionar parâmetros de irregularidade que possam correlacionar-se com o IRI.

Os valores coletados pelos medidores tipo resposta não medem o perfil real do pavimento, mas uma resposta em termos de deslocamentos que se relacionam com a irregularidade dos pavimentos, filtrada pelas características do veículo utilizado e que não inclui os maiores comprimentos de onda, como nos levantamentos estáticos. Assim, reconhece-se que esta abordagem produz um perfil percebido, já que a resposta é variável de acordo com os efeitos dinâmicos decorrentes do sistema de suspensão do veículo (BISCONSINI, 2016).

Ainda segundo Bisconsini (2016), embora os aplicativos para *smartphones* não acumulem os deslocamentos verticais entre a carroceria e o eixo traseiro do veículo devido as irregularidades da rodovia, são considerados Classe III, pois calculam o IRI indiretamente por correlação com a aceleração vertical. Portanto precisam de uma prévia calibragem. Um exemplo de equipamento que acumula os deslocamentos do eixo traseiro está ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Equipamento tipo resposta



Fonte: Douangphachanh (2014).

No entanto, as propriedades dinâmicas de cada veículo são particulares e variam com o tempo, logo as medições devem ser correlacionadas com o IRI mediante uma equação de calibração, que deve ser obtida experimentalmente e especificamente para o veículo utilizado (BISCONSINI, 2016).

2.3.4 Classe IV

De acordo com Hirpahuanca (2016) e Douangphachanh (2014), existem situações em que os dados de irregularidade não necessitam de grande precisão ou simplesmente não é possível obter dados precisos. Nesses casos, pode-se recorrer a uma avaliação subjetiva, mediante experiência prévia do avaliador e uma inspeção visual. Além da inspeção visual, também pode ser adotado um sistema de classificação baseado em código, no qual são atribuídas notas para classificar a condição da superfície do pavimento.

No Brasil, esse método é regulamentado pelo procedimento Brasil (2003b). Essa avaliação é realizada por equipes de no mínimo 5 avaliadores a bordo de um veículo que trafega

com velocidade pouco abaixo da permitida para a rodovia em trechos selecionados com características homogêneas com no máximo 2km de extensão.

Os avaliadores atribuem notas em uma escala de 0 a 5, onde a nota 0 é o valor correspondente ao pior conceito de conforto ao rolamento (péssimo), e a nota 5, o melhor conceito (ótimo). A média das notas corresponde ao valor de serventia atual (VSA). (BRASIL, 2003b).

Dessa forma, o VSA possui uma relação inversa ao IRI, uma vez que o IRI tem uma tendência crescente relacionada ao nível de irregularidade. O VSA é considerado impreciso pois os resultados são dependentes das opiniões e critérios pessoais de cada avaliador. Além disso, o método do VSA não mede irregularidade longitudinal, apenas apresenta uma forte correlação. Um exemplo de ficha de avaliação para esse método é ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Ficha de avaliação de serventia

VSA – Valor de Serventia Atual	5	ÓTIMO	Conceito
	4	BOM	
	3	REGULAR	
	2	RUIM	
	1	PÉSSIMO	
	0		

Rodovia: _____

Observações: _____

Nº do Avaliador: _____

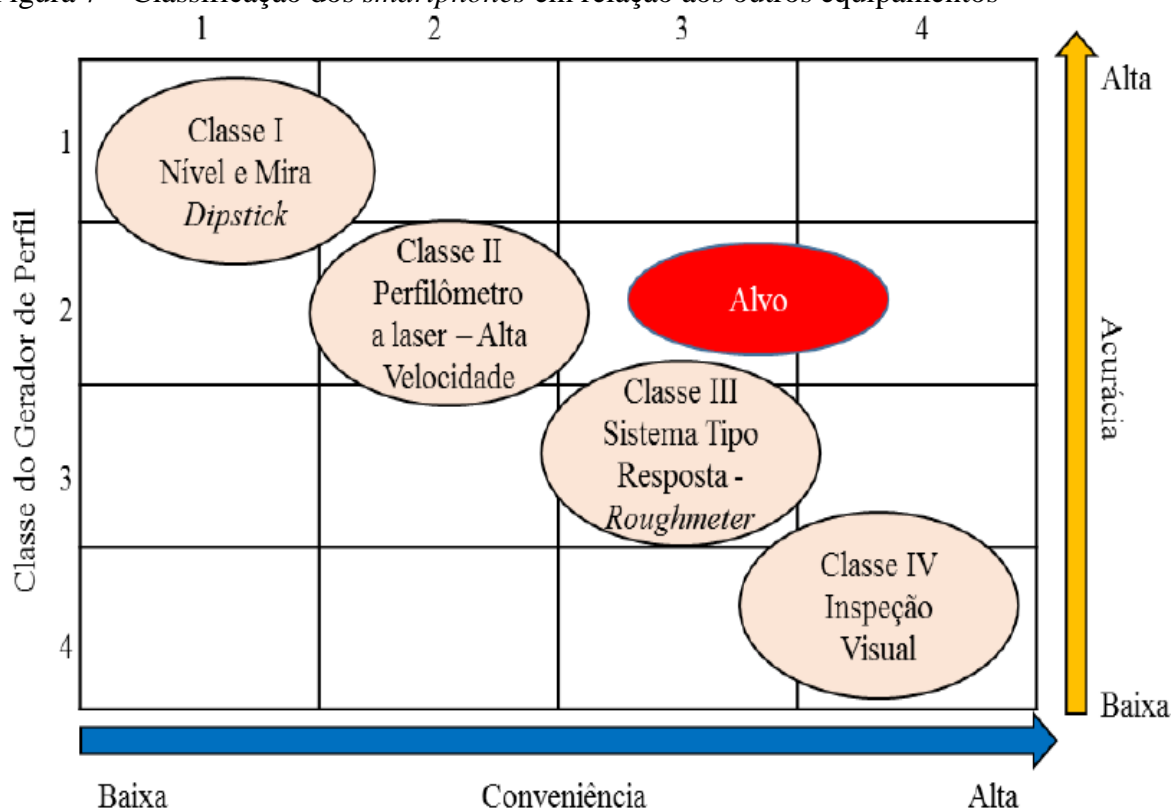
Data: ____/____/____

2.3.5 Conveniência e Acurácia

Segundo Bisconsini (2016), apesar dos vários equipamentos disponíveis para avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos, existem diferenças entre as classes desses equipamentos, que envolvem acurácia e conveniência. Em outras palavras, ainda não há uma forma de medir esse defeito com, simultaneamente, precisão e exatidão, alto rendimento e baixo custo.

Tomiyama *et al.* (2012) classificam a utilização dos *smartphones* para obtenção da irregularidade em função da acurácia do gerador do perfil e da sua conveniência de acordo com a Figura 7. O alvo refere-se ao objetivo da pesquisa de Tomiyama *et al.* (2012), ou seja, a obtenção de um método com maior acurácia e conveniência possível, que seriam um método que utilize os *smartphones* para medir a irregularidade longitudinal, mas ainda pertencente à Classe III.

Figura 7 – Classificação dos *smartphones* em relação aos outros equipamentos



Fonte: Adaptado de Tomiyama et al. (2012).

Determinar o método que forneça dados mais representativos possíveis da irregularidade longitudinal de um pavimento por meio do IRI, é de extrema importância para uma gestão de pavimentos eficiente. Quanto mais acurado for o método, mais representativo e confiável serão os dados de IRI obtidos e melhor será o embasamento para identificar trechos críticos e, então, destinar os recursos e planejar as manutenções.

A conveniência do equipamento e sua viabilidade econômica são decisivas na escolha do método. A comparação entre os métodos é fundamental na tomada de decisão. Um método será mais viável que o outro, dependendo do objetivo dos profissionais, das equipes e das condições técnicas e econômicas do órgão gestor rodoviário.

2.4 Uso de aplicativos para *smartphones* para calcular o IRI

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 maior desempenho e produtividade e sem maiores interferências humanas, aumentando a objetividade do método. Os dados ficam mais acessíveis ao usuário através da plataforma *online* do aplicativo, bem como mais facilmente visualizados e compreendidos pelos envolvidos no processo de gestão de pavimentos, facilitando a tomada de decisão.

Conforme Bisconsini (2016), boa parte dos *smartphones* está equipada com capacidade de processamento relativamente avançada, um sistema de posicionamento global (GPS) e sensores de movimento (acelerômetro, magnetômetro e barômetro).

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 para finalizar, uma unidade de processamento com boa frequência de transmissão de dados, para que o maior número possível de informações (aceleração vertical, coordenadas geográficas, velocidade) sejam coletadas em um trecho.

Assim, como nos equipamentos do tipo resposta, os sinais obtidos são muito sensíveis à velocidade com que o veículo trafega e, por esse motivo, precisam de uma calibração por correlação, com o objetivo de determinar, para cada velocidade operacional, a relação entre o valor de IRI obtido por um equipamento de precisão Classe I (preferencialmente o nível e mira) e a quantidade de deslocamentos verticais dividido pela distância percorrida medidos pelo

equipamento. No caso dos aplicativos para *smartphones* o princípio básico é correlacionar os valores de IRI (obtidos por um equipamento de precisão) com as acelerações verticais causadas pelas irregularidades longitudinais do trecho (BISCONSINI, 2016).

Os *smartphones* podem fornecer atualizações sobre a condição da irregularidade do pavimento a uma página da web rapidamente, 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 meios disponíveis.

González *et al.* (2008) afirma 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. Uma seção da estrada onde foi constatada um aumento do IRI através de aplicativos para *smartphone*, pode ser priorizada e ser avaliada por equipamento Classe I, ou outra classe. Como é uma seção específica, a avaliação se torna viável com um equipamento de menor conveniência, porém maior precisão.

2.5 Aplicativos para *smartphones*

A princípio, o interesse dos aplicativos era a detecção de buracos ou panelas utilizando sensores móveis, a maioria busca identificar e localizar esses defeitos em vez de estimar a real condição do pavimento, particularmente em termos de IRI. Um exemplo dessa aplicação é o *StreetBump*. Esse aplicativo foi desenvolvido para que os usuários contribuam mapeando buracos e outras deformações nas ruas de Boston. Os dados coletados a partir do acelerômetro e do GPS presentes no *smartphone*, são enviados a um servidor gerido pelo departamento de obras públicas de Boston (BISCONSINI, 2016).

Além do *StreetBump*, outro aplicativo desenvolvido para detecção de buracos foi o *BumpRecorder*. Esse aplicativo foi desenvolvido por pesquisadores japoneses que funciona de maneira análoga ao *StreetBump*. Considerar apenas a localização dos buracos não é uma maneira eficiente de se avaliar a qualidade da rodovia, pois a não existência de buracos não implica uma rodovia em perfeitas condições de rolamento, pois além dos buracos existem outros defeitos (ALMEIDA, 2018).

Avaliar a qualidade do pavimento é mais eficiente considerando a irregularidade longitudinal, pois ela é resultado de vários defeitos e não somente buracos. Com a pesquisa de

González *et al.* (2008), no qual apresentou um método conveniente, rápido e econômico de estimar a condição da rodovia, usando dados aproveitados de acelerômetros de veículo, outros pesquisadores como Forslof e Jones (2013), Bisconsini (2016), Wang e Guo (2016) e Almeida (2018), desenvolveram trabalhos utilizando acelerômetros de *smartphones*, para avaliação de rodovias, principalmente devido a seu baixo custo alta produtividade e fácil operação em relação aos métodos de avaliação direta.

Dar-se-á ênfase, nas próximas seções, a descrição de aplicativos como: *Roadlab*, *Roadroid* e *SmartIRI* que foram desenvolvidos para estimar a condição funcional do pavimento através da correlação do IRI com dados de aceleração vertical obtidos pelos *smartphones*.

2.5.1 *Roadroid*

Esse aplicativo foi desenvolvido no trabalho de Forslof e Jones (2013). No entanto, a equipe do *Roadroid*, desde meados da década de 1990, vem trabalhando particularmente com coleta de dados móveis, informações meteorológicas sobre rodovias e bancos de dados rodoviários. Em 2001, um projeto canadense monitorou a velocidade de caminhões de carga. Partindo do pressuposto que, se a velocidade fosse baixa, a qualidade da rodovia era ruim, porém, não foi adicionado medições de vibração.

Um primeiro sistema piloto foi construído em 2002-2003. Naquela época, foi usado um acelerômetro no eixo traseiro de um veículo com tração dianteira, conectado por cabo a um PC portátil por meio de um condicionador de sinal. Dois estudantes de mestrado construíram um primeiro protótipo usando um sistema de *software* industrial para análise de sinal. O sistema foi desenvolvido para um carro com computador Windows embarcado com GPS, bem como uma placa especial conectada ao acelerômetro. Também foi implementada uma ferramenta de Sistema de Informações Geográficas *Geographic Information System* (GIS), baseada em páginas *Web* para o cliente visualizar espacialmente a qualidade da rodovia em diferentes cores. O método foi considerado objetivo e com boa repetibilidade (FORSLOF e JONES, 2013).

Em 2010, com o grande desenvolvimento técnico de *smartphones*, todos os periféricos (acelerômetro, GPS, processador, memória e comunicação de dados) que antes estavam conectados por cabos foram integrados em um *smartphone* e as limitações de certos componentes foram substituídas por novas tecnologias.

Segundo Forslof e Jones (2013), o aplicativo foi desenvolvido para Android em alternativa ao *iPhone*, considerando a melhor relação preço/desempenho. A partir da

amostragem de dados em diferentes estradas e veículos, passando por obstáculos construídos, foi concluído que:

- a) há diferença nos resultados entre modelos de carros diferentes, especialmente em baixas velocidades. Porém, na faixa de 40 a 80 km/h, as diferenças são menores. Foi criado um modelo de como calcular a influência da velocidade do sinal para três diferentes classes de veículos;
- b) conhecer as diferenças entre dispositivos, tanto para a frequência de amostragem como para a sensibilidade do acelerômetro, é importante para obter dados comparáveis. Portanto, é necessária uma calibração do dispositivo que possa traduzir as suas características para a unidade de referência;
- c) é importante montar o dispositivo firmemente em um bom suporte de montagem. Infelizmente, poucos dispositivos possuem bons suportes de montagem.

O IRI estimado (eIRI) – baseia-se em uma correlação da *Root Mean Square Vertical Acceleration* (RMSVA) com medições de perfilômetros a laser em rodovias pavimentadas suecas. Tal correlação obteve um coeficiente relacional R^2 igual a 0,75 considerado satisfatório.

Os dados da condição da rodovia são divididos em 4 níveis diferentes de classificação que dependem do valor do IRI, ilustrados na Tabela 2.

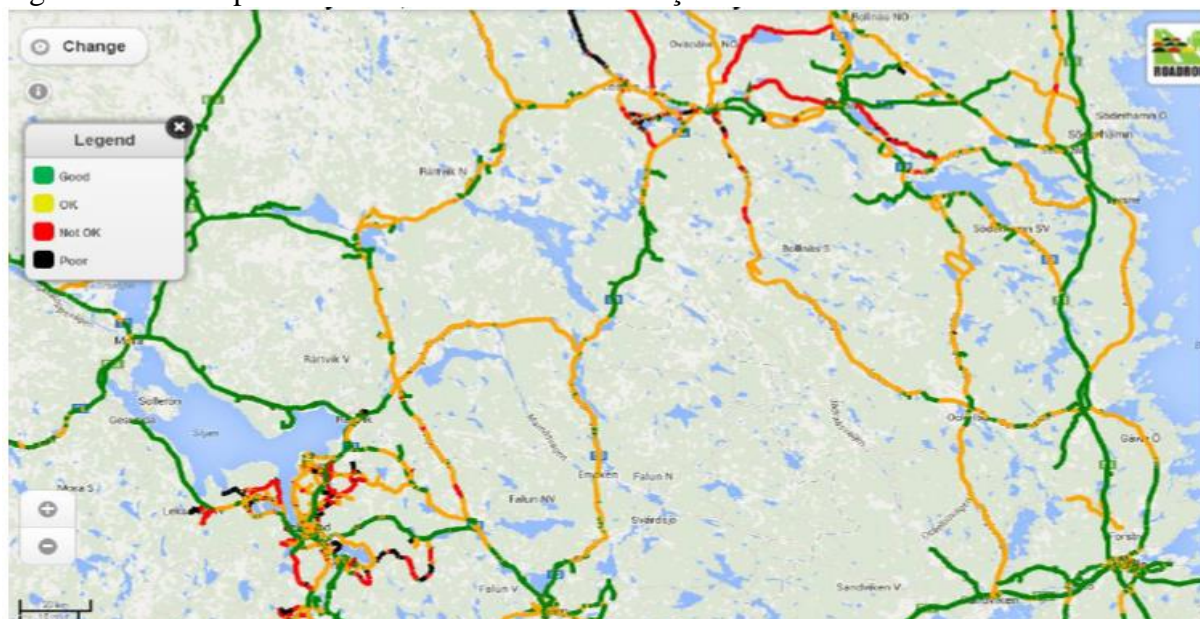
Tabela 2 – Classificação do Roadroid

Intervalos de eIRI	Classificação	Cor
eIRI < 4	Bom	Verde
$4 \leq \text{eIRI} < 6$	Satisfatório	Amarelo
$6 \leq \text{eIRI} < 8$	Insatisfatório	Vermelho
$8 \leq \text{eIRI}$	Péssimo	Preto

Fonte: Forslof e Jones (2013).

Durante a coleta, os dados são criptografados, compactados e enviados do dispositivo para um servidor da *Web*, o servidor encarrega-se de atribuir a cada nível de classificação uma cor específica, o resultado final são os trechos da malha rodoviárias ilustrados, tendo como mapa de fundo o *Google Maps* como apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Tela capturada do Roadroid de uma medição feita no meio da Suécia



Fonte: Forslof e Jones (2013).

No trabalho de Almeida, Oliveira e Ramos (2018), o *Roadroid* foi utilizado para avaliar as condições de superfície em vias pavimentadas com revestimento em Concreto Asfáltico, Tratamento Superficial e Concreto de Cimento Portland, além de uma via não pavimentada. Constatou-se que revestimentos com texturas abertas apresentam maiores valores de irregularidade mesmo na ausência de defeitos.

2.5.2 *Roadlab*

Desenvolvido na pesquisa de Wang e Guo (2016), o projeto do aplicativo era de informar as condições da rodovia no tocante ao conforto ao rolamento e a segurança. O aplicativo era voltado para o engajamento dos usuários das rodovias na avaliação e no monitoramento das condições de infraestrutura. Os usuários instalariam o aplicativo e alimentariam o banco de dados das agências de gerência de pavimento ou compartilhariam os dados com a comunidade online, informando-as a localização dos trechos críticos por meio das coordenadas geográficas obtidas pelos GPS dos *smartphones*. As agências teriam a responsabilidade de dar um retorno positivo para a população através de manutenções e reabilitações nas vias danificadas.

Segundo Wang e Guo (2016), os dados são coletados pelos usuários de duas formas: através de relatórios escritos por eles anexando fotos (buracos, manchas no asfalto, acidentes

de trânsito) capturadas pelas câmeras dos *smartphones* ou através de dados de aceleração obtidos por meio de acelerômetros, através desses dados pode se verificar onde se localizam os picos de aceleração que evidenciam irregularidades maiores na rodovia. A metodologia do aplicativo é ilustrada na Figura 9.

Figura 9 – Esquema de funcionamento do Roadlab



Fonte: Adaptado de Wang e Guo (2016).

O aplicativo é ligado automaticamente, quando a velocidade dos veículos chega a 30km/h. Para usar o aplicativo, o *smartphone* deve ser colocado em uma superfície estável em um veículo em movimento, como o painel ou o para-brisa do veículo. O aplicativo irá detectar automaticamente as posições do telefone e força dos sinais de GPS e lembrar o usuário para colocar o dispositivo corretamente, a fim de obter dados confiáveis. Todos os dados dos acelerômetros são coletados anonimamente para proteger a privacidade do usuário (WANG e GUO, 2016).

A equipe do Roadlab realizou uma calibragem por regressão para estimar os valores de IRI tendo como base os valores de desvio padrão da aceleração vertical e valores de velocidade operacional do veículo em trechos com as mais variadas condições de irregularidade. Os valores eram comparados com os valores de IRI obtidos por um perfilômetro a laser denominado *PaveProf* com 25 sensores a laser instalados que fornece valores de IRI a cada 50 metros. Obteve-se valores de coeficiente de correlação razoáveis com R^2 entre 0,6 e 0,8.

Wang e Guo (2016) ao comparar os valores de IRI dos pavimentos estimados pelo

aplicativo com os valores existente no banco de dados do Centro Técnico de Engenharia Rodoviária da Bielorrússia, foi obtido uma razoável correlação com valores de R^2 igual a 0,57. Devido a essa correlação moderada, foi adotado o método de atualização de Bayers para atualizar os dados de IRI existentes com os valores estimados pelo aplicativo.

A premissa bayesiana é semelhante ao nosso processo natural de aprendizado. Antes que os dados atualizados fossem coletados, temos um conhecimento prévio de estudos anteriores ou de conhecimento subjetivo, chamado conhecimento prévio. Após a coleta dos dados, atualizamos nosso conhecimento prévio com base em novos dados e atingimos um nível de conhecimento não datado, denominado conhecimento posterior. O posterior contém informações de dados anteriores e novos.

Os valores atualizados do IRI são calculados com a seguinte equação (1):

$$IRI_{atualizado} = w_1 * IRI_{vigente} + (1 - w_1) * IRI_{smartphone} \quad (1)$$

Onde:

- a) $IRI_{vigente}$ é o valor atual do IRI para o segmento de estrada. O valor atual do IRI pode ser o valor IRI original fornecido pelo Centro Técnico de Engenharia Rodoviária da Bielorrússia ou um valor IRI atualizado com base nos dados atuais e nos dados do smartphone;
- b) $IRI_{smartphone}$ é o valor do IRI calculado a partir dos dados do smartphone.

O coeficiente w_1 é um fator de ponderação. Reflete a crença sobre qual estimativa é mais confiável e deve receber mais peso na combinação de informações. No projeto de Wang e Guo (2016), foi definido w_1 igual a 0,9. Baseado na premissa de que os dados atuais do IRI, se disponíveis, são mais confiáveis do que uma estimativa única de IRI a partir de dados de aplicativos de smartphones. Os fatores considerados incluem variações dos dados fornecidos por usuários com diferentes tipos de veículo e velocidade e os dados mais recentes do IRI de agências rodoviárias da Bielorrússia. A relação entre o valor IRI base (IRI anterior) e o IRI atualizado (IRI posterior) tem correlação muito forte com um coeficiente de correlação de 0,93. Estes resultados demonstraram que a atualização dos dados deve ser um processo gradual e com a combinação de dados atuais e novos de IRI.

O projeto é um dos primeiros que vincula o processo com contribuições diretas de agências de gerenciamento de estradas e seus valores básicos de IRI. O Roadlab foi utilizado como aplicativo de referência no desenvolvimento do aplicativo *SmartIRI* na pesquisa de Almeida (2018). Os valores de IRI calculado pelo *SmartIRI* e o Roadlab foram bastante semelhantes obtendo uma correlação forte, com coeficiente de correlação R^2 igual a 0,85.

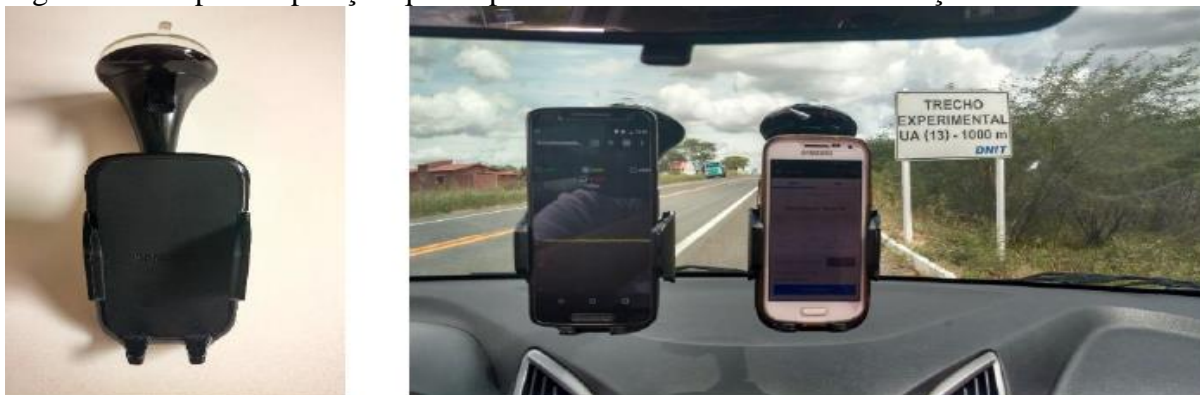
2.5.3 *SmartIRI*

O *SmartIRI* foi o aplicativo para *Android* desenvolvido por Almeida (2018) e utilizado no presente trabalho para a obtenção dos valores de IRI das 6 faixas de tráfego da Rodovia CE-401.

Como já foi discutido anteriormente, os aplicativos precisam de uma prévia calibração por correlação para cada veículo, aparelho e velocidade operacional. Feita a calibração, o celular deve ser fixado no para-brisa do veículo através de um suporte e a avaliação deve ser iniciada com o veículo em movimento quando a velocidade de 60 a 80 km/h é atingida, pois segundo Bisconsini (2016) para velocidade muito baixas os pneus absorvem pequenas saliências, fenômeno conhecido como envoltória dos pneus sobre irregularidades de alta frequência, além disso para menores velocidades o veículo não apresenta resposta para irregularidades com grandes comprimentos de onda, o nível de irregularidade pode ser então reduzido.

Ainda segundo Bisconsini (2016), o ruído produzido pelos *smartphones* tem maior efeito em velocidades menores, pois sua amplitude se aproxima do sinal de aceleração vertical medido, diminuindo sua relação com a irregularidade real do pavimento. Para mitigar os efeitos dos ruídos Forslof e Jones (2013) recomenda o suporte *Vehicle Dock*, da marca Samsung ilustrado na Figura 10, pois dentre os modelos de suporte para *smartphone*, este foi o que proporcionou as menores taxas de vibração do aparelho.

Figura 10 – Suporte e posição que o aparelho deve ficar durante a avaliação



Fonte: Almeida (2018).

O próprio aplicativo faz o processamento dos dados de aceleração vertical e calcula o RMSVA a cada 100 metros percorridos, informando também as coordenadas geográficas do

respectivo trecho de 100 metros, afim de georreferenciar o trecho. Esses dados coletados foram implementados em um modelo desenvolvido por Almeida (2018) a partir de dados obtidos em Bisconsini (2016) com objetivo de determinar o valor de IRI, através de uma correlação com o RMSVA. Esses dados podem ser analisados no próprio *smartphone* ou realizando o *upload* dos arquivos gerados para se realizar uma análise mais detalhada.

Além de RMSVA e coordenadas geográficas, outras informações foram inseridas na coleta de dados, tais como hora da avaliação, velocidade média e distância percorrida. A Figura 11 apresenta uma captura da tela do *SmartIRI*, com os dados coletados durante uma avaliação.

Figura 11 – Arquivo com os dados coletados pelo *SmartIRI*

HORA	VEL. MÉDIA	CLASSIFICAÇÃO	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DISTÂNCIA	IRI	RMS
15:19:43	73.38 Km/h	BOM	-4.961603	-38.997786	-4.960694	-38.997858	100.00 m	2.63	0.78
15:19:49	76.91 Km/h	BOM	-4.960694	-38.997858	-4.959735	-38.997925	106.00 m	2.25	0.68
15:19:54	81.93 Km/h	BOM	-4.959735	-38.997925	-4.958715	-38.998006	113.00 m	3.14	1.10
15:19:59	84.33 Km/h	BOM	-4.958715	-38.998006	-4.957660	-38.998086	117.00 m	3.00	1.09
15:20:04	84.61 Km/h	BOM	-4.957660	-38.998086	-4.956614	-38.998274	117.00 m	3.86	1.47
15:20:09	84.95 Km/h	BOM	-4.956614	-38.998274	-4.955596	-38.998591	117.00 m	2.82	1.03
15:20:14	84.78 Km/h	BOM	-4.955596	-38.998591	-4.954579	-38.998904	117.00 m	2.99	1.10
15:20:19	85.65 Km/h	BOM	-4.954579	-38.998904	-4.953552	-38.999218	118.00 m	2.52	0.91
15:20:24	85.69 Km/h	BOM	-4.953552	-38.999218	-4.952525	-38.999535	118.00 m	2.64	0.96

Fonte: Almeida (2018).

Na fase de desenvolvimento inicial do aplicativo, optou-se por não discretizar os valores de IRI a cada 100 m, e sim, calcular o IRI médio dos trechos estudados sem segmentá-los. A escolha em segmentar os trechos a cada 100 metros foi feita para facilitar a visualização de segmentos principalmente quando possuem características distintas de superfície em um curto espaço (ALMEIDA, 2018).

O *SmartIRI*, após calcular o IRI através da correlação com o RMSVA, apresenta, além da tela da Figura 11, um arquivo no formato kml apresentado na Figura 12, que permite ao usuário a visualização do trecho monitorado por meio de mapas, segmentando o trecho a cada 100 metros em uma escala de cores que obedece aos seguintes parâmetros de acordo com a Tabela 3.

Figura 12 – Mapa gerado pelo *SmartIRI*

Fonte: Almeida (2018).

Tabela 3 – Classificação proposta pelo *SmartIRI*

Intervalos de IRI (m/km)	Classificação	Cor
$IRI < 2$	Excelente	Verde escuro
$2 \leq IRI < 4$	Bom	Verde claro
$4 \leq IRI < 6$	Regular	Laranja
$6 \leq IRI$	Ruim	Vermelho

Fonte: Almeida (2018).

A classificação proposta pelo *SmartIRI* assemelha-se à proposta pelo programa *Highway Development and Maintenance* (HDM-4) citado em Brasil (2011). No entanto, uma nova classe foi criada por Almeida (2018), denominada Excelente, e, assim, transpondo as classes subsequentes para o limite posterior, fazendo com que a classe Regular do HDM-4 fosse classificada como Bom no *SmartIRI*. A Tabela 4 mostra o comparativo entre as classificações.

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

Condições de tráfegabilidade	HDM- 4 (m/km)	Condições de tráfegabilidade	<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 fato do *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 de classe é que grande parte dos revestimentos dos pavimentos rodoviários do estado do Ceará, local onde foi desenvolvido e calibrado o aplicativo, são Tratamentos Superficiais, que, devido ao processo executivo, tendem a apresentar valores de IRI maiores (2,7 m/km na fase inicial) do que um pavimento revestido com Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ). (ALMEIDA; OLIVEIRA; RAMOS, 2018).

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.

3 ESTUDO DE CASO: RODOVIA CE-401

Nesse Capítulo será feita uma descrição da Rodovia CE-401, além de especificar como foi realizado o levantamento dos dados e a maneira como os dados foram organizados para que pudesse ser feita sua respectiva análise.

3.1 Descrição da Rodovia CE-401

A nomenclatura oficial da via analisada nesta pesquisa é Rodovia CE-401, segundo Ceará (2017), sendo mais conhecida como Avenida Senador Carlos Jereissati (ou Avenida do Aeroporto). Foi construída entre os anos de 1997 e 1998 e, está localizada no município de Fortaleza, estado do Ceará, liga os bairros Montese e Aerolândia, nas proximidades da Rodovia BR-116, contornando o Aeroporto Internacional Pinto Martins, conforme ilustra a Figura 13.

Figura 13 – Rodovia CE-401



Fonte: Adaptado de Google Maps (2018).

A rodovia em questão possui duas pistas de rolamento e 6 faixas de tráfego, com extensão de 6 km e revestimento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) segundo dados de Ceará (2017). A Figura 14 é uma ilustração, em escala menor, da Rodovia CE-401 onde observa-se que as pistas possuem 3 faixas de tráfego em cada Sentido. Além de um canteiro central separando as duas pistas de rolamento.

Figura 14 – Configuração da Rodovia CE-401



Fonte: Adaptado de Google Maps (2018).

Para organizar a análise comparativa das faixas, definiu-se como Sentido 1 o que tem orientação de Leste para Oeste, e o Sentido 2, de Oeste para Leste. Segundo Carannante (2018), a Rodovia CE-401 apresentou em 2012 o Volume Médio Diário Anual (VMDa) de 22.777 veículos no Sentido 1 e 21.417 veículos no Sentido 2. Esses dados de VMDa são os mais atualizados disponíveis pelo Departamento Estadual de Rodovia (DER-CE) e estão divididos por tipo de veículo conforme disposto na Tabela 5.

Tabela 5 – VMDa da Rodovia CE-401

Sentido	Motocicleta	Automóvel	Ônibus	Caminhão Leve	Caminhão Médio	Caminhão Pesado	Caminhão Ultra pesado	TOTAL
1	2.408	12.493	670	441	1.043	2.073	3.650	22.777
1	11%	54%	3%	2%	5%	9%	16%	100%
2	2.546	10.436	630	468	999	1.876	4.462	21.417
2	12%	48%	3%	2%	5%	9%	21%	100%

Fonte: Carannante (2018).

Ceará (2018) divide a Rodovia CE-401 em dois segmentos: o primeiro está delimitado entre a Rodovia BR-116 e o Aeroporto Internacional Pinto Martins, o segundo entre o Aeroporto Internacional Pinto Martins e a Avenida dos Expedicionários. A situação, considerando o aspecto funcional da qualidade ao rolamento, do primeiro segmento é classificada pelo Ceará (2018) como Boa e a do segundo como Regular, conforme descrito na tabela da Figura 15.

Figura 15 – Classificação da Rodovia CE-401

SITUAÇÃO DAS RODOVIAS DO CEARÁ				
Rodovias: CE-401 - ENTR. BR-116 - AV. DOS EXPEDICIONÁRIOS				
Situação	Segmento	Início	Fim	Extensão (km)
Boa	401ECE0010D	ENTR. BR-116	AEROPORTO INTERNACIONAL PINTO MARTINS	3.2
Boa	401ECE0010E	ENTR. BR-116	AEROPORTO INTERNACIONAL PINTO MARTINS	3.2
Regular	401ECE0030D	AEROPORTO INTERNACIONAL PINTO MARTINS	AV. DOS EXPEDICIONÁRIOS	2.8
Regular	401ECE0030E	AEROPORTO INTERNACIONAL PINTO MARTINS	AV. DOS EXPEDICIONÁRIOS	2.8

Fonte: Ceará (2018).

Segundo Carannante (2018), essa classificação é feita por meio de uma avaliação subjetiva Classe IV realizada pelo Distrito Operacional da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) que é responsável pela conservação da Rodovia-CE 401. Trata-se de uma avaliação de trafegabilidade e é atualizada constantemente pelos gerentes de distrito se caso existir algum defeito na rodovia que está prejudicando o escoamento de veículo, esse dado é considerado e a nota cai. Além disso, trata-se de uma classificação global, sem levar em consideração trechos específicos onde as irregularidades podem ser maiores. O objetivo desta pesquisa é, portanto, identificar esses trechos específicos por meio do levantamento de dados que será descrito a seguir.

3.2 Levantamento dos dados

O levantamento de dados para esse trabalho foi realizado no dia 5 de agosto de 2018, entre 10h e 12h. Embora a Rodovia CE-401 tenha 6 km de extensão, como informado anteriormente, o trecho selecionado para ser avaliado tem cerca de 4,1km. Pois, como o objetivo da pesquisa é comparar a qualidade funcional das faixas de tráfego de uma rodovia, especialmente em alguns trechos específicos em que a irregularidade pode ser maior, o trecho foi escolhido, em razão de, visualmente, percebe-se uma concentração de defeitos em algumas regiões específicas, ocasionado variação da irregularidade longitudinal e a qualidade ao rolamento do pavimento. Essa característica do trecho facilita a análise, pois se o trecho apresentasse poucos defeitos, não existiriam parâmetros a serem comparados nas faixas de tráfego. A Figura 16 apresenta o trecho avaliado neste trabalho.

Figura 16 – Trecho com 4,1 km de extensão avaliado



Fonte: Adaptado de Google Maps (2018).

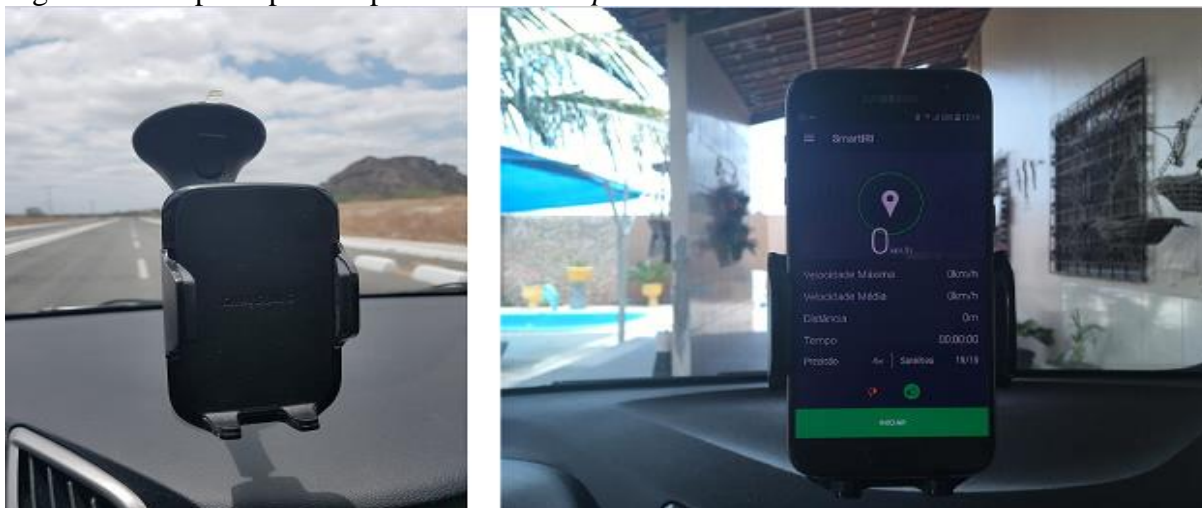
Onde os pontos indicadores “I” e “F”, respectivamente, representam o início e o final do levantamento para as faixas de tráfego do Sentido 1, e são respectivamente o final e início do levantamento para as faixas de tráfego do Sentido 2. Essa observação será útil para entender a organização dos dados que será explicada no final desta seção.

O veículo utilizado no levantamento é 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, o tanque de combustível com cerca de 20 litros de gasolina.

O *smartphone* utilizado foi o Galaxy S7 da marca Samsung, ilustrado na Figura 17, pois o aparelho apresenta giroscópio o que permite a permanência da mesma direção do eixo de rotação na ausência de forças que o perturbem, seja qual for a direção do veículo que o conduz. 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) recomenda o modelo *Vehicle Dock* da marca Samsung, ilustrado na Figura 17. Esse equipamento fornece bom apoio para o *smartphone*, o que permite a mitigação de erros oriundos de vibração excessiva do aparelho com o veículo em movimento.

Figura 17 – Suporte para o aparelho e o *smartphone*



Fonte: elaborado pelo autor.

O levantamento foi realizado a uma velocidade média de 57km/h pois a velocidade máxima permitida na maior parte do trecho avaliado era de 60 km/h. Almeida (2018) recomenda que a velocidade durante o levantamento fosse entre 60 e 80 km/h, pois como discutido anteriormente no capítulo de revisão bibliográfica, a velocidade tem influência nos valores de IRI calculados. Para um melhor entendimento da análise comparativa dos dados levantados, as faixas foram numeradas conforme ilustra a Figura 18.

Figura 18 – Enumeração das faixas de tráfego.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2018).

Essa numeração obedece a sequência em que foi realizado o levantamento no trecho. O levantamento do trecho começou na F1 que fica na pista de Sentido 1, quando foi finalizado o levantamento do trecho por esta faixa de tráfego, o veículo retornou ao trecho avaliado pela pista de Sentido 2 e começava o levantamento na F2. E assim, foi realizado o levantamento nas 6 faixas de tráfego do trecho de 4,1 km da Rodovia CE-401.

Observa-se que as faixas de tráfego de numeração ímpar estão na pista de Sentido 1 e as de numeração par estão na pista de Sentido 2, as faixas de trânsito de menor numeração (F1 e F2) estão próximas ao acostamento (faixas da direita), as de maior numeração (F5 e F6) estão próximas ao canteiro central (faixas da esquerda) e as de numeração intermediária (F3 e F4) são as faixas centrais. Esta observação será útil, também, para entender a organização dos dados que será explicada no final desta seção.

Finalizado o levantamento do trecho em cada faixa de trânsito, era gerado pelo *SmartIRI* uma planilha de dados. Como no exemplo da Figura 19, a qual ilustra uma tela extraída do aplicativo *SmartIRI*, onde uma planilha contendo os dados obtidos no levantamento na faixa F1 é apresentada.

Observa-se que os Trechos não são exatamente de 100 m. Isso ocorre devido um atraso na leitura do GPS do *smartphone*, fazendo com que o trecho se estenda em cerca de 110 metros.

Figura 19 – Exemplo de planilha com dados obtidos na faixa F1

HORA	VEL. MÉDIA	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DISTÂNCIA	IRI	RMS
10:32:48	57.24 Km/h	-3.783928	-38.519719	-3.783739	-38.520707	111.00 m	2.92	0.71
10:32:56	56.10 Km/h	-3.783739	-38.520707	-3.783565	-38.521676	109.00 m	2.78	0.67
10:33:03	56.54 Km/h	-3.783565	-38.521676	-3.783393	-38.522654	110.00 m	2.91	0.71
10:33:10	56.89 Km/h	-3.783393	-38.522654	-3.783210	-38.523637	111.00 m	2.68	0.64
10:33:17	57.21 Km/h	-3.783210	-38.523637	-3.783023	-38.524629	112.00 m	3.39	0.85
10:33:24	57.84 Km/h	-3.783023	-38.524629	-3.782947	-38.525640	112.00 m	3.13	0.78
10:33:31	58.51 Km/h	-3.782947	-38.525640	-3.783191	-38.526634	114.00 m	3.02	0.76
10:33:38	56.68 Km/h	-3.783191	-38.526634	-3.783632	-38.527519	109.00 m	3.09	0.76
10:33:45	55.52 Km/h	-3.783632	-38.527519	-3.783958	-38.528431	107.00 m	2.72	0.64
10:33:52	57.99 Km/h	-3.783958	-38.528431	-3.783968	-38.529440	112.00 m	2.79	0.68
10:33:59	58.62 Km/h	-3.783968	-38.529440	-3.783702	-38.530429	114.00 m	3.46	0.89
10:34:06	58.76 Km/h	-3.783702	-38.530429	-3.783396	-38.531411	114.00 m	3.97	1.04
10:34:13	58.59 Km/h	-3.783396	-38.531411	-3.783094	-38.532392	113.00 m	3.90	1.02
10:34:20	58.14 Km/h	-3.783094	-38.532392	-3.782795	-38.533361	112.00 m	3.29	0.83
10:34:27	55.75 Km/h	-3.782795	-38.533361	-3.782515	-38.534290	107.00 m	5.06	1.32
10:34:34	58.55 Km/h	-3.782515	-38.534290	-3.782217	-38.535275	114.00 m	3.37	0.86
10:34:41	56.23 Km/h	-3.782217	-38.535275	-3.781942	-38.536210	108.00 m	3.26	0.81
10:34:48	56.14 Km/h	-3.781942	-38.536210	-3.781654	-38.537152	109.00 m	3.37	0.84
10:34:55	56.38 Km/h	-3.781654	-38.537152	-3.781372	-38.538099	109.00 m	3.65	0.92
10:35:02	55.10 Km/h	-3.781372	-38.538099	-3.781096	-38.539021	106.00 m	3.36	0.82
10:35:09	54.94 Km/h	-3.781096	-38.539021	-3.780815	-38.539942	106.00 m	3.53	0.87
10:35:16	56.09 Km/h	-3.780815	-38.539942	-3.780520	-38.540879	109.00 m	4.18	1.07
10:35:23	55.29 Km/h	-3.780520	-38.540879	-3.780237	-38.541803	107.00 m	3.34	0.82
10:35:30	55.82 Km/h	-3.780237	-38.541803	-3.779958	-38.542742	108.00 m	3.55	0.89
10:35:37	55.33 Km/h	-3.779958	-38.542742	-3.779687	-38.543671	107.00 m	3.72	0.93
10:35:44	55.11 Km/h	-3.779687	-38.543671	-3.779399	-38.544594	107.00 m	3.22	0.78
10:35:51	43.28 Km/h	-3.779399	-38.544594	-3.779122	-38.545486	103.00 m	3.62	0.79
10:35:58	47.96 Km/h	-3.779122	-38.545486	-3.778726	-38.546381	108.00 m	4.27	1.00
10:36:07	54.29 Km/h	-3.778726	-38.546381	-3.778201	-38.547174	105.00 m	4.84	1.24
10:36:15	49.43 Km/h	-3.778201	-38.547174	-3.777546	-38.547905	108.00 m	4.86	1.18
10:36:22	51.36 Km/h	-3.777546	-38.547905	-3.776938	-38.548576	100.00 m	5.81	1.46
10:36:30	55.45 Km/h	-3.776938	-38.548576	-3.776298	-38.549318	108.00 m	5.08	1.32
10:36:37	56.84 Km/h	-3.776298	-38.549318	-3.775622	-38.550057	111.00 m	5.21	1.38
10:36:44	57.23 Km/h	-3.775622	-38.550057	-3.774789	-38.550601	110.00 m	4.80	1.27
10:36:51	56.31 Km/h	-3.774789	-38.550601	-3.773826	-38.550789	109.00 m	4.98	1.31
10:36:58	56.31 Km/h	-3.773826	-38.550789	-3.772858	-38.550614	109.00 m	3.84	0.98
10:37:05	53.49 Km/h	-3.772858	-38.550614	-3.771975	-38.550318	103.00 m	5.80	1.50

Fonte: *SmartIRI* (2018).

As coordenadas finais e iniciais servem para georreferenciar o trecho e possibilitar a sua visualização no mapa, onde o trecho será representado pela cor referente ao respectivo intervalo de classificação, a qual o seu valor IRI pertence, conforme a Tabela 3. Os dados com valores de IRI estão organizados conforme a Tabela 6, já ilustrados com as cores conforme a classificação do *SmartIRI*.

Com a tabela 6 pôde-se identificar os trechos em que os valores de IRI são maiores. Esses trechos foram visitados dia 9 de setembro de 2018 das 15h às 18h, quando foi realizado um levantamento fotográfico dos defeitos no pavimento que poderiam justificar os altos valores de IRI.

Tabela 6 – Organização dos dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego

	Sentido 2				Sentido 1			
	Segmento de 100 metros	F2	F4	F6	F5	F3	F1	Segmento de 100 metros
Segmento 1 (BR-116 ao Aeroporto) correspondente a 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	0,5	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	-	

Fonte: elaborado pelo autor

O aplicativo fornece valores de IRI a cada segmento com cerca de 100 metros percorridos. Como a Rodovia CE-401 tem duas pistas com Sentidos contrários, o 37º segmento de 100 metros na pista de Sentido 1 está paralelo ao 1º segmento de 100 metros na pista de rolamento de Sentido 2. Logo, para um mesmo trecho, o último valor de IRI obtido em um Sentido é o primeiro valor de IRI obtido no outro Sentido. Então, para uma melhor comparação dos dados de IRI para determinados trechos específicos no trecho total avaliado, organizaram-se os dados de IRI adotando-se a sequência de um dos Sentidos, adotou-se então o Sentido 1.

Para não prejudicar a visualização dos dados, resolveu-se ordenar as colunas da Tabela 6 conforme a sequência, representada pela Figura 18, em que as faixas se localizam no trecho. Isso, porque, se a ordenação das colunas obedecesse a sequência com que foi feito o levantamento, as colunas com os dados de IRI das faixas F1 e F2, por exemplo, seriam visualizadas uma próxima da outra na Tabela 6, embora essas faixas estejam em pistas de rolamento diferentes.

Por problemas de operação, como encerrar o levantamento antes do ponto final, haja vista que o operador era o próprio motorista, a F2 apresentou um valor de IRI a menos que as outras faixas. Todavia, esse erro pode ser considerado irrelevante, pois a região em que está faltando este valor de IRI (início do Sentido 1 e final do Sentido 2) apresentou valores de IRI muito baixos em todas as faixas, logo não é um trecho crítico, não cabendo fazer análises mais detalhadas.

Como descrito anteriormente, Ceará (2018) divide a Rodovia CE-401 em dois segmentos. Na Tabela 6, o trecho total levantado neste estudo de caso foi também dividido em dois segmentos. A divisão foi feita no 23º segmento de 100 metros no Sentido 1 (tendo em vista que o 23º é o que passa em frente ao terminal de passageiros do aeroporto). Logo, os dois segmentos do trecho avaliado neste trabalho correspondem aos dois segmentos da classificação de Ceará (2018).

Observa-se na Tabela 6 que o IRI médio de todas as faixas do segmento 1 é menor que 4,00. Classificado pelo *SmartIRI* como Bom, quanto à qualidade do conforto ao rolamento, o que é condizente com a classificação de Ceará (2018) para esse segmento. Porém, no segmento 2 existe uma divergência entre as classificações. Pois, Ceará (2018) classifica o segmento 2 como Regular, enquanto o *SmartIRI* classifica como Regular apenas o IRI médio das faixas F2, F3 e F1. O restante é classificado pelo *SmartIRI* como Bom.

3.3 Análise descritiva quantitativa dos dados

Na tabela 7 é apresentada uma análise geral, considerando-se a porcentagem de valores de IRI, das faixas de tráfego, em suas respectivas categorias de classificação segundo o *SmartIRI*: Excelente, Bom, Regular e Péssimo.

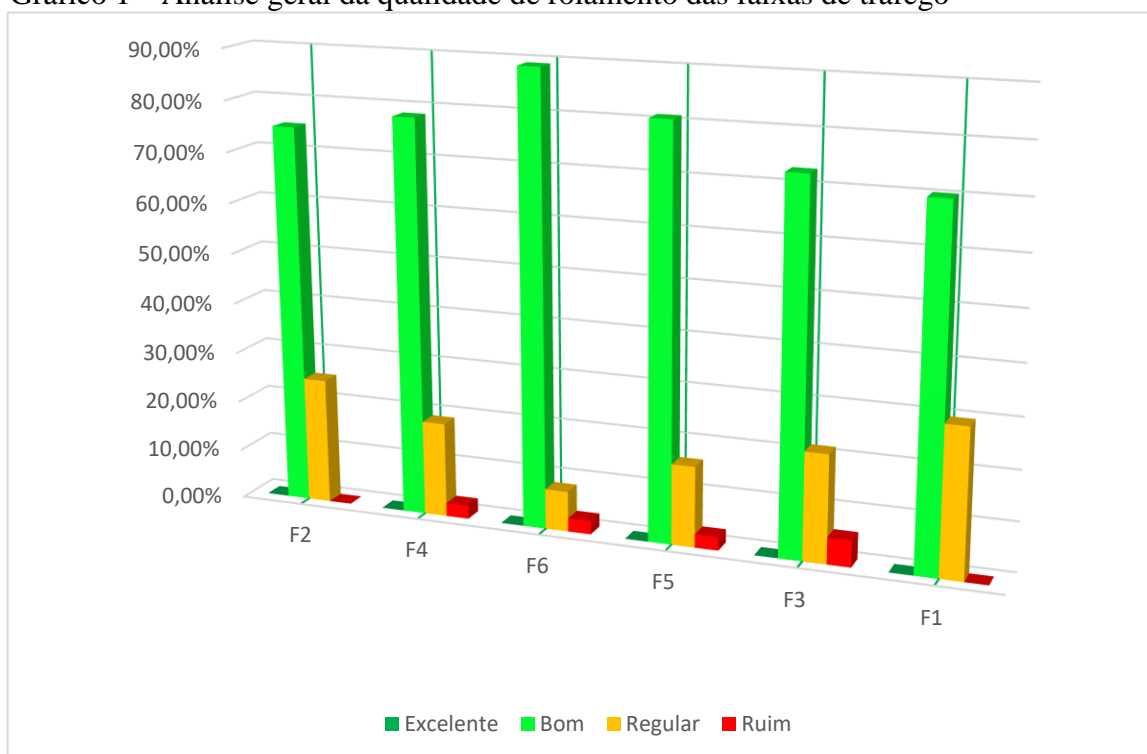
Tabela 7 – Análise geral da qualidade das faixas de tráfego

Classificação	F2	F4	F6	F5	F3	F1
-	Sentido 2			Sentido 1		
Excelente	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Bom	75,00%	78,38%	89,19%	81,08%	72,97%	70,27%
Regular	25,00%	18,92%	8,11%	16,22%	21,62%	29,73%
Ruim	0,00%	2,70%	2,70%	2,70%	5,41%	0,00%

Fonte: Adaptado de Carannante (2018).

Por essa análise, as faixas F5 e F6, que estão próximas ao canteiro central, apresentam qualidade de conforto ao rolamento melhor em relação as faixas de tráfego 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 possível hipótese para essa diferença na qualidade do rolamento. Além disso, pelos dados de VMDa por tipos de veículo (Tabela 5), a porcentagem de veículos pesados como caminhões e ônibus é bem significativa, com 34% no Sentido 1 e 37% no Sentido 2. O Gráfico 1 representa essa relação geral da qualidade de conforto ao rolamento entre as faixas de tráfego.

Gráfico 1 – Análise geral da qualidade de rolamento das faixas de tráfego



Fonte: elaborado pelo autor.

A qualidade das faixas do Sentido 1 ser pior que as faixas de tráfego do Sentido 2. Pode ser explicado pelo fato de as faixas de tráfego do Sentido 1 apresentam maior VMDa em relação as faixas de tráfego do Sentido 2. Como mostrado na Tabela 5.

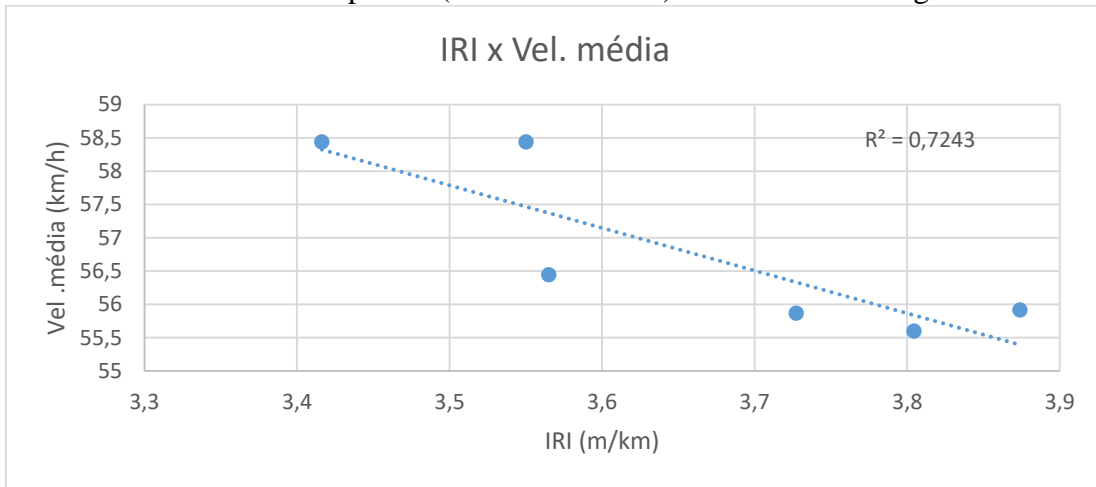
Observou-se que a velocidade com que o levantamento foi feito é menor nas faixas de tráfego próximas ao acostamento nos dois Sentidos (F1 e F2). Isso pode ser explicado devido essas faixas serem de acesso (entrada e saída) de veículos da Rodovia CE-401, mas também, deve-se levar em consideração o fato do fluxo de tráfego de veículos pesados e lentos ocorrer, preferencialmente, nessas faixas de tráfego, contribuindo para o aumento da irregularidade como apresentado na Tabela 8. O Gráfico 2 ilustra a forte correlação ($R^2=0,72$) entre velocidades baixas e altos valores de IRI nas faixas de tráfego.

Tabela 8 – Relação entre irregularidade e tráfego de veículos pesados.

F2		F4		F6		F5		F3		F1	
Sentido 2						Sentido 1					
IRI	Vel.	IRI	Vel.	IRI	Vel.	IRI	Vel.	IRI	Vel.	IRI	Vel.
Médio	Média	Médio	Média	Médio	Média	Médio	Média	Médio	Média	Médio	Média
(m/km)	(km/h)	(m/km)	(km/h)	(m/km)	(km/h)	(m/km)	(km/h)	(m/km)	(km/h)	(m/km)	(km/h)
3,73	55,87	3,57	56,45	3,42	58,44	3,55	58,44	3,87	55,92	3,80	55,60

Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 2 – Gráfico de Dispersão (velocidade x IRI) nas faixas de tráfego



Fonte: elaborado pelo autor.

3.4 Análise dos dados em trechos específicos

Nesta seção será feita uma análise mais detalhada em 4 trechos específicos (comuns as 6 faixas de tráfego) em que os valores de IRI foram bem maiores em relação ao restante dos valores calculados no trecho de 4,1 km. Os 4 trechos estão ilustrados na Figura 20.

Figura 20 – Trechos específicos ao longo da Rodovia CE-401



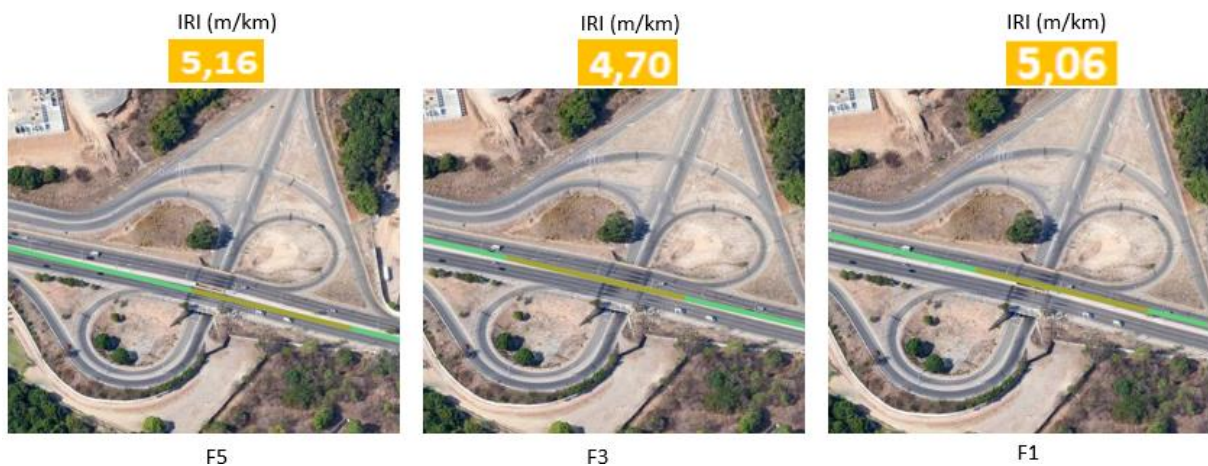
Fonte: Adaptado de Google Maps (2018).

Tendo como base a orientação pelo Sentido 1 tem-se: o trecho 1 é o que está sobre o primeiro viaduto, o trecho 2 é o que está nas proximidades do terminal de passageiros do Aeroporto Internacional Pinto Martins, o trecho 3 é o que está sobre o segundo viaduto e o trecho 4 é o que começa cerca de 100 metros após o segundo viaduto e prolonga-se até o final da Rodovia CE-401, considerando o segmento levantado neste trabalho.

3.4.1 Trecho crítico 1 e 3

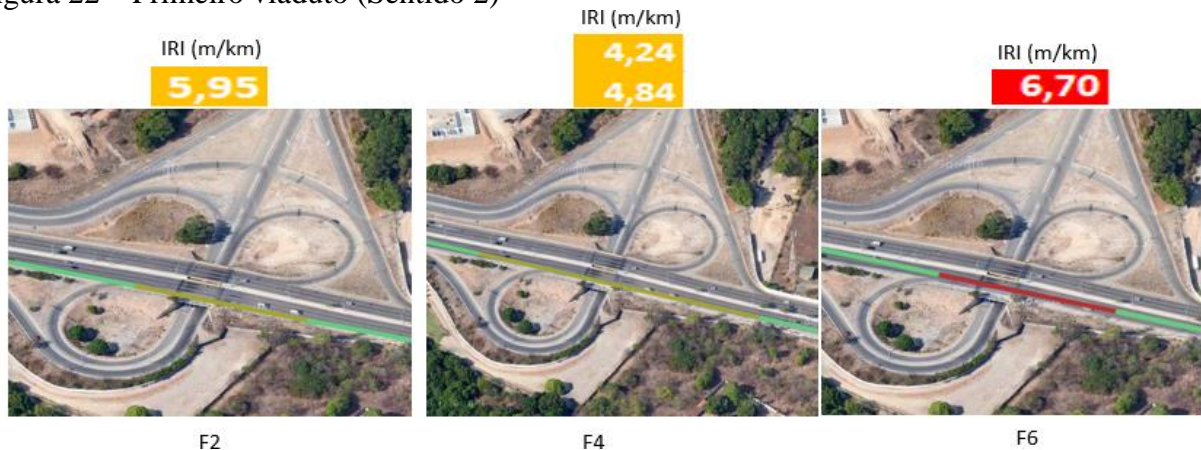
As Figuras 21 a 24 representam os trechos críticos 1 e 3, referentes ao primeiro e segundo viaduto, respectivamente. Nas figuras estão ilustrados os trechos com seus respectivos valores de IRI para as 6 faixas de tráfego. Os trechos já estão representados nas cores referentes à sua classificação, segundo o *SmartIRI*, quanto a qualidade ao rolamento.

Figura 21 – Primeiro viaduto (Sentido 1)



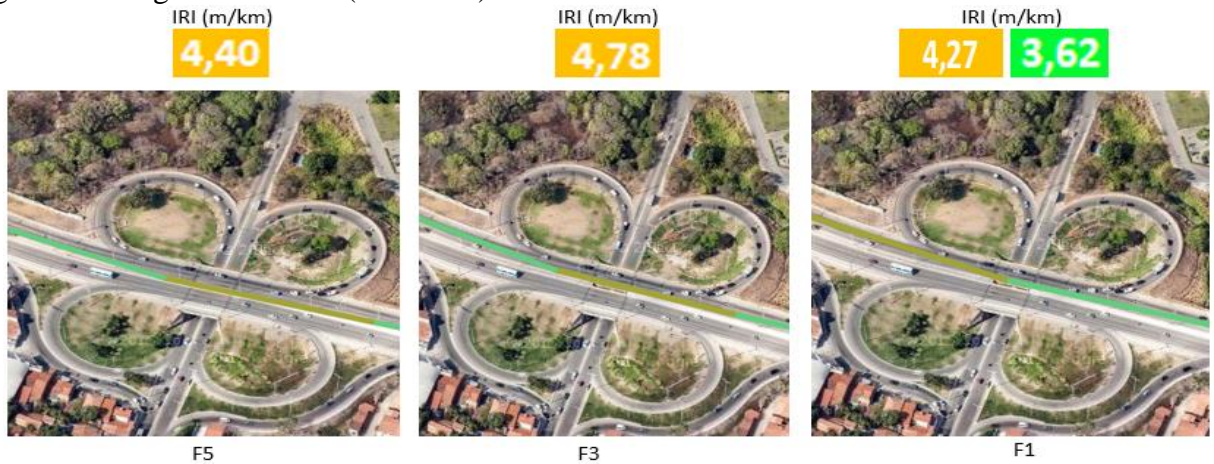
Fonte: *SmartIRI* (2018).

Figura 22 – Primeiro viaduto (Sentido 2)



Fonte: *SmartIRI* (2018).

Figura 23 – Segundo viaduto (Sentido 1)



Fonte: *SmartIRI* (2018).

Figura 24 – Segundo viaduto (Sentido 2)



Fonte: *SmartIRI* (2018).

Observa-se que a classificação dos trechos analisados varia de Regular a Ruim. Uma hipótese para esses valores de IRI pode estar associado à presença de degraus na junção da pista com as cabeceiras dos viadutos que provocam efeitos de solavanco nos veículos durante sua passagem nos viadutos. Esse defeito está ilustrado nas Figuras 25 a 28, obtidas durante levantamento fotográfico *in situ* efetuado 9 de setembro de 2018 das 15h às 18h. O efeito de solavanco nos veículos faz com que a aceleração vertical tenha um pico, aumentando assim os valores de *Root Mean Square* (RMSVA) e, conseqüentemente, os valores de IRI.

Figura 25 – Degrau na interseção do pavimento com o primeiro viaduto (Sentido 1)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 26 – Degrau na cabeceira do primeiro viaduto (Sentido 2)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 27 – Degrau na interseção do pavimento com o segundo viaduto (Sentido 1)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 28 – Degrau na interseção do pavimento com o segundo viaduto (Sentido 2)



Fonte: elaborada pelo autor.

3.4.2 Trecho crítico 2

As Figuras 29 e 30 representam o trecho crítico 2, referente ao trecho que está nas proximidades do terminal de passageiros do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

Figura 29 – Trecho em frente ao terminal de passageiros do Aeroporto Internacional Pinto Martins (Sentido 1)



Fonte: *SmartIRI* (2018).

Figura 30 – Trecho em frente ao terminal de passageiros do Aeroporto Internacional Pinto Martins (Sentido 2)



Fonte: *SmartIRI* (2018).

Observa-se, nos dois Sentidos, que a qualidade das faixas de tráfego foi classificada como Regular pelo *SmartIRI*, exceto para as faixas de tráfego centrais (F3 e F4).

Figura 31 – Diferença na textura entre as faixas de tráfego (Sentido 1)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 32 – Diferença na textura entre as faixas de tráfego (Sentido 2)



Fonte: elaborada pelo autor.

As faixas de tráfego centrais apresentarem textura mais fechada em seu revestimento em relação as faixas de tráfego da esquerda (F5 e F6) e as da direita (F1 e F2) como ilustrado nas Figuras 31 e 32. Isso é uma hipótese para que a qualidade do rolamento das faixas de tráfego centrais tenha sido classificada como Boa, embora a qualidade das outras faixas tenha sido classificada como Regular.

Essa hipótese pode ser fundamentada na pesquisa de Almeida, Oliveira e Ramos (2018), a qual constatou que revestimentos, embora sem defeitos, apresentam valores de irregularidade longitudinal maiores para texturas abertas. Isso deve-se a sobreposição entre os domínios de escala vertical entre a megatextura e irregularidade longitudinal indicado na Tabela. Almeida (2018) afirma ainda que o *SmartIRI* não possui filtros digitais para minimizar a influência da textura, então o aplicativo não consegue fazer diferenciação entre a dimensão da textura e irregularidade.

Tabela 9 – Classificação da textura

Domínio	Intervalo de Dimensões	
	Horizontal	Vertical
Microtextura	0 – 0,5 mm	0 – 0,2 mm
Macrotextura	0,5 – 50 mm	0,2 – 10 mm
Megatextura	50 – 500 mm	1 – 50 mm
Irregularidade	0,5 m – 50 m	1 mm – 20 cm

Fonte: Aps (2006).

Durante a construção das fundações da passarela de pedestre que está representada na Figura 33, sondagens foram realizadas no pavimento. Concluídas as sondagens e a instalação dos pilares da passarela, as perfurações nas regiões das sondagens foram tratadas com remendos. Então, além do fato da diferença de textura entre as faixas de tráfego, foi constatado a presença de remendos nas faixas do canteiro central (F5 e F6) como ilustrado na Figura 34, o que afeta a qualidade de rolamento do pavimento, portanto elevando o valor do IRI.

Figura 33 – Passarela de pedestre na Rodovia CE-401



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 34 – Remendos devido as sondagens



Fonte: elaborada pelo autor.

Outra hipótese para os altos valores de IRI no trecho 2, é o fato de a sinalização horizontal que indicava semáforo de pedestre ter sido removido a fogo conforme ilustrado na Figura 35. Essa forma de retirar a sinalização provoca danos no pavimento e afeta o conforto ao rolamento.

Figura 35 - Sinalização horizontal retirada



Fonte: elaborada pelo autor.

3.4.3 Trecho crítico 4

As Figuras 36 e 37 representam o trecho crítico 4, que começa cerca de 100 metros após o segundo viaduto e prolonga-se até o final do trecho total avaliado de 4,1 km de extensão.

Figura 36 – Trecho crítico 4 (Sentido 1)



Fonte: *SmartIRI* (2018).

Figura 37 – Trecho crítico 4 (Sentido 2)



Fonte: *SmartIRI* (2018).

Observa-se, nos dois sentidos, que o *SmartIRI* classificou a qualidade das faixas de tráfego como Regular na maioria dos segmentos de 100 metros do trecho crítico 4 e em alguns segmentos foram classificados como Ruim. Porém, isso não ocorreu nas faixas de tráfego centrais (F5 e F6).

Uma hipótese para explicar a classificação Regular das faixas de tráfego da direita e centrais, é a mesma hipótese levantada na análise geral, que devido ao fato de veículos pesados e lentos trafegarem por elas, surgem defeitos que aumentam a irregularidade longitudinal como: trincas, remendos e deslizamento de revestimento conforme ilustrado nas Figuras 38 a 45.

Figura 38 – Remendos e trincas transversais (Sentido 1)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 39 – Remendos (Sentido 1)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 40 – Remendos e trincas longitudinais (Sentido 1)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 41 – Trinca com erosão nas bordas (Sentido 1)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 42 – Trincas couro de jacaré (Sentido 2)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 43 – Trinca com erosão nas bordas (Sentido 2)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 44 – Remendos e trincas (Sentido2)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 45 – Remendos e trincas transversais (Sentido 2)



Fonte: elaborada pelo autor.

4 CONCLUSÕES

A classificação global da qualidade do conforto ao rolamento proposta por Ceará (2018) e pelo *SmartIRI*, realizada nesse trabalho, estão de acordo para o segmento 1 da Rodovia CE-401 classificado como Bom em ambas as classificações. Porém, para o segmento 2 que é classificado como Regular pelo órgão gestor de pavimentos estadual, apenas 3 faixas de tráfego (F1, F2 e F3) são classificadas como Regular pelo *SmartIRI*, as restantes (F4, F5 e F6) são classificadas como Bom, não concordando com a classificação do órgão.

As faixas de tráfego do Sentido 1, que tem maior VMDa em relação ao Sentido 2, apresentaram qualidade pior que as faixas do Sentido 2. Assim como as faixas de tráfego próximas ao acostamento (F1 e F2), que são preferencialmente trafegadas por veículos mais pesados, apresentaram qualidade pior em relação as faixas de tráfego próxima ao canteiro central (F5 e F6) que são preferencialmente trafegadas por veículos mais leves.

Os quatro trechos críticos, com valores de IRI elevados, foram identificados no trecho total avaliado. No trecho 1 e 3, a hipótese levantada para justificar os altos valores de IRI, foi a presença de degraus na cabeceira dos viadutos que geram efeitos de solavanco nos veículos.

No trecho 2 a justificativa pelos altos valores de IRI é presença de defeitos no pavimento causados pela construção da passarela para pedestre, além da diferença de textura entre as faixas. Por fim, no trecho 4, os elevados valores de IRI foram maiores principalmente nas faixas próximas ao acostamento. O que pode ser explicado pelo intenso tráfego de veículos pesados nessas faixas, causando diversos defeitos que aumentam a irregularidade longitudinal.

O uso de aplicativos para *smartphones* para avaliação funcional de rodovias é bem satisfatório. Tendo em vista que apresentam resultados mais confiáveis que as avaliações subjetivas e bem mais práticos e baratos que perfilômetros a laser. O fato do método ser mais prático e de menor custo aquisitivo, possibilita que em uma rodovia com várias faixas de tráfego, possa ser realizado um, ou mais, levantamento por faixa. Podendo então definir a faixa que está em pior condição de conforto ao rolamento.

Além disso, o aplicativo utilizado neste trabalho fornece dados de IRI a cada segmento com cerca de 100 metros, georreferenciando os segmentos em mapas, ilustrando-os com cores segundo a classificação do aplicativo. Podendo então, o gestor de pavimento fazer uma classificação mais específica da rodovia, identificam trechos críticos (com valores de IRI elevados) que seriam negligenciados em uma avaliação global.

Uma limitação desta pesquisa, foi utilizar dados de VMDa da Rodovia CE-401 antigos em relação ao ano em que foi feita a avaliação funcional da mesma, pois o órgão gestor não forneceu dados mais atualizados.

Uma restrição da pesquisa é o tamanho reduzido da amostra dos levantamentos realizados pelo *SmartIRI*, tendo em vista que foi realizado apenas um levantamento para cada faixa de tráfego. Além da restrição imposta pela fiscalização de trânsito de que velocidade máxima permitida na Rodovia ser de 60 km/h.

Sugere-se para trabalhos futuros que o trecho avaliado pelo aplicativo tenha extensão igual ao trecho avaliado pelo órgão gestor de pavimento. Pois neste trabalho avaliou-se apenas uma parte do trecho, o que pode afetar a comparação entre as duas classificações. Bem como, deve-se realizar um estudo de contagem de veículos para que se possa utilizar dados mais atuais de VMDa.

Recomenda-se para trabalhos futuros que se faça mais de um levantamento por faixa, assim aumentando o tamanho da amostra e a confiabilidade dos dados. Além de estudar uma rodovia em que se possa trafegar com maiores velocidades e assim estudar a influência da velocidade no conforto da qualidade ao rolamento percebido pelo usuário.

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*. In: **Revista Transportes**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 70-83, 2018.
- APS, Marcia. **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI - Internacional Friction Index para revestimentos asfálticos**. 2006. 179 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- 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. *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2008.
- 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
- BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Norma DNIT 006/2003 - PRO: avaliação subjetiva de pavimentos flexíveis e semirrígidos: procedimento**. Rio de Janeiro, 2003a.
- 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, 2003b
- 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).
- 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. **Informativo gerencial 2017**. Fortaleza, 2017

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. **Anuário CNT do transporte: estatísticas consolidadas: 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. *et al.* The use of vehicle acceleration measurements to estimate road roughness. **Vehicle system dynamics**, v. 46, n. 6, p. 483-499, 2008.

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.

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.

SMART IRI. **[Levantamento CE-401]**. 2018. 1 fotografia, color. (Aplicativo em desenvolvimento). Disponível em <<https://SmartIRIapp-prod.firebaseio.com/#/home>>. Acesso em 21 set. 2018.

TOMIYAMA, K. *et al.* **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.