

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**BRUNO ALESSANDRO FARIAS**

**ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DE SMARTPHONE E A  
IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS**

**PATO BRANCO**

**2021**

**BRUNO ALESSANDRO FARIAS**

**ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DE SMARTPHONE E A  
IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS**

**ANALYSIS OF CORRELATION BETWEEN SMARTPHONE DATA AND  
LONGITUDINAL PAVEMENT ROUGHNESS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
apresentado como requisito parcial à obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Civil, do  
Departamento de Construção Civil da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Danilo Rinaldi Bisconsini

**PATO BRANCO**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**BRUNO ALESSANDRO FARIAS**

**ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DE SMARTPHONE E A  
IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
apresentado como requisito parcial à obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Civil, do  
Departamento de Construção Civil da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.  
Orientador: Prof. Dr. Danilo Rinaldi Bisconsini

Data de aprovação: 26 de novembro de 2021

---

Danilo Rinaldi Bisconsini  
Doutor em Engenharia de Transportes  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Jorge Braulio Cossío Durán  
Doutor em Engenharia de Transportes  
Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

---

Dalcimar Casanova  
Doutor em Física Computacional  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PATO BRANCO**

**2021**

“São as perguntas que não sabemos responder que mais nos ensinam. Elas nos ensinam a pensar. Se você dá uma resposta a um homem, tudo o que ele ganha é um fato qualquer. Mas, se você lhe der uma pergunta, ele procurará suas próprias respostas.”

(ROTHFUSS, 2011)

## RESUMO

A malha rodoviária brasileira possui grande extensão e exige grandes investimentos em manutenção. Parte essencial do trabalho de manutenção das rodovias é o monitoramento da condição da via. A qualidade de rolamento da via tem impacto direto no Custo de Operação de veículos (COV), sendo a irregularidade longitudinal de pavimentos uma das condições mais representativas da qualidade de rolamento. O parâmetro mais utilizado mundialmente para a representação da irregularidade longitudinal de pavimentos é o Índice Internacional de Irregularidade (IRI). A irregularidade está diretamente relacionada ao conforto, segurança e custos dos usuários. Vários equipamentos podem ser utilizados para a medição da irregularidade longitudinal, sendo o perfilômetro inercial a laser um dos mais eficientes para essa tarefa. No entanto, o custo para compra ou mesmo para a contratação do serviço pode tornar seu uso inviável para levantamentos frequentes e mais abrangentes, especialmente para fins de gerência de pavimentos em nível de rede. Atualmente, os smartphones modernos têm apresentado potencial para serem utilizados como medidores de irregularidade do tipo resposta, quando embarcados em um veículo que trafega pela rodovia a ser avaliada, por possuírem sensores de acelerômetro e localização que podem ser utilizados nessa avaliação. Neste trabalho, analisou-se a correlação entre a aceleração vertical medida por smartphones e o IRI obtido por um perfilômetro. Para isso, foram isoladas variáveis de interesse, como velocidade do veículo, extensão de trecho a ser analisado e o tipo de filtro a ser aplicado, a fim de determinar seus efeitos e melhorar a correlação entre a aceleração vertical e a irregularidade da pista. Os resultados indicam que a utilização de um filtro de velocidade para velocidades muito baixas ou altas tem efeito positivo na correlação. Já a aplicação de um filtro de frequência passa-banda se mostrou efetivo para o aumento da correlação para levantamentos realizados a 40 km/h, 60 km/h e sem velocidade fixa, não sendo relevante para o levantamento a 80 km/h. Em relação ao comprimento dos trechos, os melhores resultados foram observados em segmentos de 500 m em oposição aos de 100 m. Por fim, os dados dos smartphones também foram inseridos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), demonstrando formas de aplicação úteis para Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP).

Palavras Chave: pavimentos; irregularidade longitudinal; IRI; smartphones.

## ABSTRACT

The Brazilian road network is extensive and requires large investments in maintenance. An essential part of road maintenance work is monitoring the road conditions. The road rolling quality has a direct impact on the Vehicle Operating Cost (VOC) with the longitudinal pavement roughness of being one of the most representative conditions of the rolling quality. The most used parameter worldwide to represent the longitudinal pavement roughness is the International Roughness Index (IRI). The roughness is directly related to the comfort, safety and costs for the users. Several equipments can be used to measure longitudinal roughness, the inertial laser profiler being one of the most efficient for this task. However, the cost of purchasing or even contracting the service can make its use unfeasible for frequent and extensive surveys, especially for network level pavement management purposes. Currently, modern smartphones have the potential to be used as response-type roughness measurer when boarded in a vehicle traveling along the road to be evaluated, as they have accelerometer and location sensors that can be used in this evaluation. In this paper, the correlation between the vertical acceleration measured by smartphones and the IRI obtained by a profiler will be evaluated. For this, variables of interest were isolated, such as vehicle speed, length of stretch that will be analyzed and the type of filter that will be applied, in order to determine its effects and improve the correlation between vertical acceleration and track roughness. The results indicate that the use of a speed filter for very low or high speeds has a positive effect on the correlation. However, the application of a bandpass frequency filter proved to be effective in increasing the correlation for surveys carried out at 40 km/h, 60 km/h and variable speed, not being relevant for the survey at 80 km/h. Regarding the length of the stretches, the best results were observed in 500 m segments as opposed to 100 m. Finally, smartphone data were also inserted into a Geographic Information System (GIS), demonstrating useful application for Pavement Management Systems (SGP). (PMS).

Key-words: pavements; longitudinal roughness; IRI; smartphones

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Exemplo da distribuição espacial dos dados dos smartphones e perfilômetro .....	24
Figura 2: Determinação do traçado da rodovia .....	25
Figura 3 - Exemplo de dados correspondentes à manobra de saída da rodovia .....	27
Figura 4 - IRI Médio x RMSVA Sem Filtros .....	29
Figura 5 - IRI Médio x RMSVA 0,2-20Hz .....	30
Figura 6 - IRI Médio x RMSVA - Filtro 0,2Hz.....	30
Figura 7 - IRI Médio x RMSVA - Filtro 0,2-20Hz .....	31
Figura 8 - RMSVA Médio x Velocidade.....	32
Figura 9 - Mapa de classificação por valores de aceleração mínimos e máximos, para 60 km/h .....	34
Figura 10 - Mapa de classificação por normas para 60 km/h.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do Pavimento .....	15
Tabela 2: Classificação do IRI .....	28
Tabela 3: Classificação para acelerações verticais da ISO 2631-1 adaptada .....	28
Tabela 4: Relação de Coeficientes (r) Sem Filtro de Velocidade .....	32
Tabela 5: Relação de Coeficientes (r) Com Filtro de Velocidade.....	33



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

AASHTO	Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COV	Custos Operacionais de Veículos
DAINF	Departamento Acadêmico de Informática
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Hz	Hertz
ICPF	Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis
IRI	<i>International Roughness Index</i>
Km/h	Quilômetros por hora
RMSVA	<i>Root mean square vertical acceleration</i>
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SGPU	Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos
SIG	Sistema de Informações Geográficas
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VIMS	<i>Vehicular Intelligent Monitoring Systems</i>
VSA	Valor da Serventia Atual

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>13</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	13
1.1.2	Objetivos Específicos .....	13
<b>1.2</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Condição Do Pavimento .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Avaliação De Defeitos .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Irregularidade Longitudinal De Pavimentos .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Equipamentos.....</b>	<b>17</b>
2.4.1	Histórico .....	17
2.4.2	Classificação Dos Equipamentos.....	18
2.4.3	Medidores Do Tipo Resposta .....	19
2.4.4	Perfilômetros Inerciais.....	19
<b>2.5</b>	<b>Sistema De Informação Geográfica .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6</b>	<b>Smartphones.....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Classificação Metodológica Da Pesquisa .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Ferramentas Utilizadas .....</b>	<b>22</b>
3.2.1	Linguagem De Programação E Bibliotecas .....	22
3.2.2	QGIS .....	23
<b>3.3</b>	<b>Aplicativo.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4</b>	<b>Taxa De Aquisição .....</b>	<b>23</b>
<b>3.5</b>	<b>Tratamento Inicial.....</b>	<b>24</b>
<b>3.6</b>	<b>Filtros.....</b>	<b>26</b>
<b>3.7</b>	<b>Análise Estatística .....</b>	<b>26</b>
<b>3.8</b>	<b>Elaboração Do Sistema De Informações Geográficas .....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Gráficos De Dispersão .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>RMSVA Médio.....</b>	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>Mapas.....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo da pavimentação, segundo Balbo (2007, p. 15), é “[...] propiciar um tráfego confortável e seguro, com estruturas e materiais capazes de suportar os esforços decorrentes da ação do tráfego combinados com as condições climáticas”.

Do ponto de vista do conforto, a qualidade de rolamento é o aspecto mais importante da condição funcional do pavimento, segundo Buttlar e Islam (2012), principalmente para rodovias de alta velocidade. A qualidade de rolamento pode ser estimada de forma subjetiva, a partir da obtenção do Valor da Serventia Atual (VSA) ou a partir do Levantamento Visual Contínuo (LVC), que fornece um índice similar ao VSA, chamado de ICPF (Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis). Quando avaliado de forma objetiva, o Índice de Irregularidade Internacional (IRI, do inglês *International Roughness Index*) é o parâmetro amplamente utilizado para representar essa condição.

Segundo Buttlar e Islam (2012), a irregularidade aumenta os custos do usuário com combustível, reparos e manutenção, desgaste de pneus e depreciação. Esses custos, também chamados de Custos Operacionais de Veículos (COV), são somados com os gastos com manutenção e intervenções precoces nas rodovias e, conforme Bernucci et al. (2008, p. 22) “[...] são inaceitáveis uma vez que podemos dispor de equipamentos de laboratório e de campo que permitam um melhor entendimento dos materiais e de métodos de projeto teórico-empíricos”.

Atualmente, o levantamento de dados de irregularidade depende da contratação de serviço especializado ou da obtenção dos equipamentos dedicados por parte dos órgãos e empresas da área de transporte e pavimentação. Em alguns casos, esses dados não são obtidos pelo alto custo envolvido. Devido a esta conjuntura, os smartphones surgem como uma alternativa válida, pois “[...] a correlação entre os dados de smartphones e IRI aparenta ser grande o suficiente para garantir estudos maiores e mais aprofundados” (HANSON e CAMERON, 2012, p. 01).

Tendo em vista esse contexto, esse trabalho tem como objetivo a análise da irregularidade longitudinal do trecho da rodovia BR-158 localizado entre as cidades de Santa Maria e Júlio de Castilhos, na mesorregião centro-ocidental do Rio Grande do Sul, a partir do uso de dados de smartphones.

No mês de outubro de 2019, foi realizado um levantamento utilizando um perfilômetro inercial a laser para a obtenção do IRI em segmentos de 100 e 500 metros de extensão e um

smartphone Motorola Moto Z2 Play para o levantamento das acelerações verticais a uma taxa de 200 (Hz) dados por segundo.

De posse dessas informações, procedeu-se a análise de diferentes tipos de filtragem dos dados, bem como a comparação dos resultados para os diferentes trechos e velocidades, além da aplicação destes resultados dentro de um sistema de informações geográficas.

## **1.1 OBJETIVOS**

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a correlação entre dados de aceleração vertical fornecidos por um smartphone e o IRI medido por um Perfilômetro Inercial a Laser.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a influência da velocidade do veículo na correlação entre RMSVA e IRI;
- Comparar a correlação entre RMSVA e IRI para diferentes extensões dos segmentos de IRI;
- Realizar a aplicação de diferentes faixas de filtros passa-banda sobre os sinais de aceleração no domínio da frequência;
- Verificar a viabilidade da elaboração de um Sistema de Informações Geográficas para a exibição dos dados processados.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

As rodovias estão constantemente sendo avaliadas, mesmo que de forma casual e involuntária, pois toda vez que um usuário trafega pela via, a interação do veículo com o pavimento gera acelerações verticais que impactam no seu conforto.

Segundo Haas et al. (1994), a irregularidade longitudinal de pavimentos está diretamente relacionada à suavidade, conforto e segurança no rolamento, sendo uma das medidas mais representativas da condição funcional de uma rodovia. Porém, as medições necessárias para se obter a irregularidade são caras ou lentas, o que torna inviável a avaliação contínua do pavimento.

Neste contexto, é fundamental encontrar alternativas para que esse controle possa ser realizado de maneira mais estratégica, utilizando ferramentas e metodologias que ocupem menos tempo e exijam menos recursos, auxiliando assim na tomada de decisão em eventuais intervenções.

Nos últimos anos, o avanço tecnológico permitiu acesso a smartphones com uma gama diversa de sensores como acelerômetros e giroscópios triaxiais, GPS (Sistema de

Posicionamento Global), câmeras de alta resolução e gravador de som. Com grande capacidade de coleta, processamento e transmissão de dados.

Tendo em vista essa oportunidade, vêm-se estudando a possibilidade do uso de smartphones no processo de obtenção contínua de dados de sistemas viários, gerando assim uma ferramenta alternativa que auxilie no sistema de gerência de pavimentos em nível de rede, auxiliando na tomada de decisão de usar equipamentos mais precisos para a gerência em nível de projeto.

Esta pesquisa busca contribuir para os estudos da viabilidade de uso de smartphones como dispositivo para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos, estimando as limitações através do uso de ferramentas de ciência de dados, bem como identificar quais variáveis influenciam nestes resultados. Além disso, parte da originalidade consiste na apresentação dos dados em um ambiente SIG, que é uma das ferramentas utilizadas na aplicação de Sistemas de Gerência de Pavimentos.

O levantamento dos dados se deu em outubro de 2019, e foi realizado pelo professor Danilo Rinaldi Bisconsini para a elaboração de sua tese de Doutorado, na qual foram analisados os dados no sentido Val da Serra (RS) a Santa Maria (RS), e para o projeto de extensão denominado Avaliação da Condição de Pavimentos com Smartphones, o que viabiliza o uso destes para a elaboração da pesquisa, sendo o perfilômetro gentilmente cedido pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo abordar a atual situação da infraestrutura rodoviária nacional e a importância da gerência de pavimentos. Em seguida, discute mais detalhadamente o levantamento da irregularidade longitudinal de pavimentos, equipamentos de medição e pesquisas que abordaram o uso de smartphones para essa avaliação.

### 2.1 CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

O modo rodoviário é o que mais contribui para o transporte de cargas na matriz de transportes brasileira. De acordo com EPL (2021 p. 75), utilizando dados de 2017, as rodovias são responsáveis por mais de 66% do transporte de cargas nacional.

Sendo o setor que mais contribui para a matriz de transportes, é preciso que haja um controle periódico da sua condição para que as vias se mantenham sempre seguras e com qualidade de rolamento satisfatória, pois a garantia de uma boa qualidade das vias proporciona aos usuários uma redução nos Custos Operacionais dos Veículos (COV).

Dentro desses controles periódicos, a Confederação Nacional do Transporte (CNT) também avalia anualmente a condição da totalidade de rodovias federais pavimentadas, bem como as principais estaduais também pavimentadas. Em 2019, o órgão avaliou um total de 108.863 quilômetros de rodovias considerando apenas a qualidade do pavimento e, conforme apresentado na Figura 1, observa-se que apenas 47,6% é avaliado com os conceitos Bom ou Ótimo (CNT, 2019).

**Tabela 1: Classificação do pavimento**

Pavimento	Extensão Total	
	Km	%
Ótimo	42,015	38,6
Bom	9,768	9,0
Regular	38,060	35,0
Ruim	14,965	13,7
Péssimo	4,055	3,7

Fonte: CNT, 2019

## 2.2 AVALIAÇÃO DE DEFEITOS

Desde que estradas e rodovias vêm sendo construídas, os usuários têm plena percepção dos variados graus de conforto presentes nas viagens. Essa percepção de conforto ao viajar é tão presente na história que chega a refletir na linguagem e folclore de diversas civilizações (HVEEM, 1960).

Segundo Entine e Walker (2002), o ponto mais importante para uma boa avaliação é identificar os diferentes tipos de desgaste do pavimento e ligá-los a uma causa. Explicam que entender o que causou a situação atual é de extrema importância para a seleção de uma técnica de manutenção ou reabilitação adequada.

Um pavimento pode ser avaliado de forma objetiva ou subjetiva. Segundo BRASIL (2011), os dois principais parâmetros de avaliação de pavimentos são o Valor da Serventia Atual (VSA), uma medida subjetiva baseada em notas dadas por técnicos avaliadores, e o Índice de Irregularidade Internacional (IRI), que consiste em um parâmetro de avaliação objetivo determinado através de medições de irregularidade longitudinal.

O Valor da Serventia Atual é definido em BRASIL (2011) como um dado numérico em uma escala de 0 a 5, dado pela média de notas de avaliadores para o conforto de rolamento de um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento.

Segundo Silva (2008), os defeitos em pavimentos com revestimento asfáltico podem ser classificados como deformações de superfície, defeitos de superfície, painéis, escorregamento do revestimento betuminoso, trincas e fissuras. Estes defeitos impactam diretamente no conforto do usuário de uma via e estão ligados ao surgimento da irregularidade longitudinal.

## 2.3 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS

A irregularidade pode ser entendida como um desvio da superfície do pavimento em relação a um plano de referência que resulta em acelerações verticais indesejáveis ao veículo e usuários, contribuindo assim para uma viagem insegura, desconfortável e não econômica (HUDSON, 1981).

Outra forma de se compreender a irregularidade, segundo Hudson (1981), é como um fenômeno que resulta da interação da superfície da via com o veículo que trafega pelo



pavimento. A sensação de conforto depende de um conjunto de fatores, como o perfil da rodovia, sistema de suspensão do veículo e a sensibilidade dos usuários à velocidade.

Segundo Carey e Irick (1960), a qualidade de rolamento de uma via está fortemente relacionada ao seu perfil longitudinal e transversal. Os estudos feitos nas vias de teste da Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte (AASHTO, do inglês *The American Association of State Highway and Transportation Officials*) mostram que 95% da percepção do usuário quanto à serventia de uma rodovia é resultado da irregularidade do perfil da superfície.

Logo, a irregularidade longitudinal de pavimentos é uma das medidas mais representativas da condição funcional de uma rodovia (HAAS et al., 1994), pois está diretamente relacionada à suavidade, conforto e segurança no rolamento.

Em 1986, o Banco Mundial desenvolveu o IRI (do inglês, *International Roughness Index*), que desde então é reconhecido como padrão para levantamento de irregularidade de pavimentos. Segundo Sayers (1995), o IRI é considerado como indicador da serventia do pavimento, independente do equipamento usado e do local onde a medida foi executada, além de não variar com o tempo.

O IRI é definido como um parâmetro de medida para irregularidade de um pavimento baseado na resposta de um quarto de um veículo motorizado trafegando pelo perfil longitudinal da superfície de uma rodovia (HAJEK; KAZMIEROWSKI; MUSGROVE, 1998).

A irregularidade pode ser medida, segundo o Manual de Gerência de Pavimentos (BRASIL, 2011), de forma direta e indireta. A medição direta é baseada em levantamentos topográficos ou equipamentos medidores do perfil longitudinal, com ou sem contato. Já a forma indireta consiste no uso de equipamentos do tipo “resposta”, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à sua suspensão.

## **2.4 EQUIPAMENTOS**

### **2.4.1 Histórico**

Um dos primeiros equipamentos para a mensuração da irregularidade longitudinal foi, segundo Hveem (1960), desenvolvido no início do século XX, denominado de *Viagraph*. O equipamento consistia em uma régua de madeira que era apoiada e arrastada longitudinalmente sobre o pavimento, com um aparato para registrar em papel o desvio do pavimento em relação

ao centro da régua. A forma com que a irregularidade era registrada pelo *Viagraph* era semelhante ao que se usa com o IRI nos dias atuais, sendo um somatório dos desvios verticais em relação à distância percorrida.

Na década de 1920, já havia sido observado pelos engenheiros rodoviários que a irregularidade tinha impacto na vibração dos veículos motorizados, o que evidencia essa afirmação foi, segundo GILLESPIE (1992) apud Barella (2008), o desenvolvimento do equipamento denominado Via-log, considerado o precursor dos medidores do tipo resposta. Os primeiros equipamentos do tipo resposta registravam o próprio movimento da suspensão, mas logo foram substituídos por um sistema que somava o deslocamento da suspensão em um contador mecânico.

Na década de 60 foi criado o perfilômetro GMR (*General Motors Research*) por pesquisadores da General Motors, considerado o primeiro perfilômetro inercial de pavimento. O equipamento usava duas rodas apalpadoras para a coleta dos dados referentes à superfície do pavimento. Essas rodas estavam acopladas a hastes que tinham seu deslocamento vertical medido por potenciômetros. A referência da posição relativa da carroceria do veículo, em relação à superfície do pavimento, era obtida através das medidas de aceleração vertical dadas por dois acelerômetros (BARELLA, 2008).

Ainda segundo Sayers et al. (1986a) apud Barella (2008), nas décadas seguintes vêm a surgir uma pluralidade de equipamentos ao mercado, o que implicou em uma dificuldade relacionada com a correlação das medidas entre os vários equipamentos, bem como a calibração para uma escala comum. A busca para a solução deste problema leva ao desenvolvimento do IRI no final dos anos 80.

Os principais equipamentos usados para medir a irregularidade longitudinal no Brasil até os anos 2000 foram os medidores do tipo resposta, nível e mira, *Dipstick* e Merlin. Porém, a partir deste período é que os perfilômetros inerciais começaram a ganhar espaço (BARELLA, 2008).

#### 2.4.2 Classificação dos Equipamentos

Os equipamentos usados no levantamento da irregularidade podem ser classificados em quatro classes de acordo com a acurácia dos resultados (GILLESPIE et al, 1986).

Os equipamentos de classe I são definidos como equipamentos de precisão que medem diretamente o perfil dos pavimentos. São eles nível e mira, dipstick, perfilômetros inerciais a

laser. Já os de classe II englobam equipamentos de métodos perfilométricos (perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser infravermelho ou ultrassom etc.).

Os aparelhos de classe III correspondem aos sistemas medidores do tipo resposta (integrador de irregularidade longitudinal IPR/USP, Maysmeter, MERLIN etc.). Por fim a classe IV é composta pelas avaliações subjetivas.

Os smartphones são classificados dentro da classe III, pois seus resultados possuem menor precisão se comparado às classes I e II, e não possuem a capacidade de medir diretamente o perfil do pavimento, porém têm custo significativamente menor. Além disso, os resultados obtidos pelo levantamento com smartphones são mais consistentes do que aqueles obtidos através de avaliações subjetivas e, ao mesmo tempo, não exigem técnicos especializados para sua execução (BANDARA, 2016).

#### 2.4.3 Medidores do Tipo Resposta

Um medidor do tipo resposta é definido pelo BRASIL (1986, p. 2) como um “[...] aparelho que, instalado em um veículo, fornece leitura representativa da resposta da suspensão desse veículo à irregularidade do trecho percorrido”.

Esse tipo de equipamento surge na década de 1960, com o diferencial de serem capazes de medir a irregularidade com maior rendimento, serem de menor custo e possibilitarem a montagem em qualquer automóvel disponível.

Os medidores do tipo resposta obtêm o deslocamento do eixo de um veículo em relação à sua carroceria, em um único sentido. Para obter a irregularidade, é calculada a soma dos deslocamentos verticais em relação à distância longitudinal percorrida, sendo o resultado dado na unidade de m/km ou mm/m (BISCONSINI, 2016).

#### 2.4.4 Perfilômetros Inerciais

Os perfilômetros inerciais modernos, segundo Woodstrom (1990) apud Buttlar e Islam (2014), são compostos por quatro sistemas básicos:

- Acelerômetros, para determinar a altura do veículo em relação a uma linha de referência inercial;
- Sensores com o objetivo de medir a altura instantânea do veículo em relação ao pavimento;

- Velocímetro ou odômetro para determinar a posição do veículo ao longo do percurso;
- Computador para o cálculo do perfil do pavimento.

## 2.5 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Os sistemas de informação geográfica (SIG) podem ser definidos como um conjunto de ferramentas computacionais que tem como função a coleta, preparação, armazenamento, análise, transformação e exibição virtual de dados espaciais do mundo real, posicionando os mesmos em um sistema de coordenadas. O uso de um SIG implica na possibilidade de combinação de várias informações, além da manipulação, análise de dados, visualização e a geração de mapas (HUISMAN e DE BY, 2009).

Segundo Lopes et al. (2009), um SIG pode melhorar o processo de tomada de decisão ao integrar, em uma plataforma comum, os pavimentos com outras redes de infraestrutura, como abastecimento de água, esgoto, energia elétrica etc. A integração de um SIG com os subsistemas de análise de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) fornece algumas vantagens, como a exibição gráfica de mapas contendo a rede viária e a avaliação da condição do pavimento, bem como a integração com sistemas de gerenciamento já existentes.

## 2.6 SMARTPHONES

O termo smartphone que, em tradução literal, significa “telefone inteligente”, pode ser definido, segundo Torres (2009) apud Coutinho (2014, p. 12), como “[...] um celular que oferece recursos avançados similares aos de um notebook” ou ainda, também segundo Lee (2010) apud Coutinho (2014, p. 12) como os celulares “[...] que possuem um sistema operacional de um terceiro [...] e também definidos pela habilidade de rodar softwares de terceiros, tipicamente conhecidos como apps”.

Atualmente os smartphones são equipados com uma gama de sensores, sendo um acelerômetro 3D um dos mais comuns. Sua função mais básica é detectar a orientação da tela, mas para a gerência de pavimentos seu uso está relacionado à capacidade de prover medidas de aceleração nos eixos x, y e z (DOUANGPHACHANH e ONEYAMA, 2013). Além dos dados de aceleração vertical dados pelo acelerômetro, outro sensor que pode ser interessante para a

gerência de pavimentos é o de localização, que utiliza dados de GPS (*Global Positioning System*) para obter o posicionamento do aparelho em tempo real.

Em 2011, foi realizado um estudo por Strazdins et al. (2011), que usaram smartphones com o objetivo de detectar defeitos na superfície do pavimento. A conclusão obtida foi de que, apesar da baixa acurácia dos sensores, pôde-se detectar os defeitos analisados.

No estudo de Douangphachanh e Oneyama (2013), o objetivo foi estimar o IRI usando um conjunto de dois smartphones e dois veículos. Um equipamento do tipo VIMS (*Vehicular Intelligent Monitoring Systems*) foi utilizado para a medição do IRI. Os autores utilizaram a Transformada Rápida de Fourier para obter o sinal no domínio da frequência e a análise estatística escolhida foi uma correlação linear entre a soma dos valores resultantes da transformada e o IRI medido. A conclusão obtida no trabalho é que há uma relação entre a aceleração vertical e o IRI, mas parâmetros como veículo, smartphone e velocidade influenciam na correlação.

No ano seguinte, Islam et al. (2014) utilizaram integração dupla na aceleração vertical obtida pelos smartphones, com o objetivo de obter o perfil do pavimento e convertê-lo em IRI através do uso do software ProVAL. A relação entre o IRI calculado e o medido pelo perfilômetro inercial se mostrou satisfatória e consistente.

Já no trabalho realizado por Thiandee et al. (2019), não foi encontrada correlação entre a aceleração vertical e o IRI medido por um perfilômetro inercial, porém nota-se que não foi utilizado nenhum tipo de filtro além da remoção da ação da gravidade na aceleração vertical coletada. Mas, verificou-se um aumento na correlação quando da utilização de técnicas de *Machine Learning* no conjunto de dados obtidos.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA**

Este capítulo tem como objetivo classificar a pesquisa realizada de acordo com sua abordagem, objetivos e procedimentos técnicos utilizados, além de detalhar as ferramentas e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

Quanto à abordagem da pesquisa, este trabalho se classifica como uma pesquisa quantitativa, que segundo Silva e Menezes (2005, p. 20) “[...] considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas”.

Já quanto a seus objetivos e procedimentos técnicos, esta pesquisa se caracteriza como uma pesquisa descritiva e de levantamento, respectivamente. Essa classificação se dá com base na definição dada por Gil (1991, p. 42), que descreve a pesquisa descritiva como a que tem como objetivo primordial “[...] a descrição de características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis”. Ainda segundo Gil (1991), a pesquisa descritiva envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados e normalmente é classificada também como pesquisa de levantamento, que se dá quando se obtém diretamente os dados que se deseja conhecer.

#### **3.2 FERRAMENTAS UTILIZADAS**

##### **3.2.1 Linguagem de Programação e Bibliotecas**

Para realizar o ajuste e processamento dos dados coletados, foram empregados algoritmos na linguagem de programação Python, utilizando-se das bibliotecas Pandas, Numpy e Scipy. Os algoritmos utilizados neste estudo são resultado do trabalho de membros do projeto de extensão intitulado “Avaliação da Condição de Pavimentos com Smartphones”, integrantes do Departamento Acadêmico de Informática (DAINF) da UTFPR - Campus Pato Branco.

### 3.2.2 QGIS

O sistema escolhido para a visualização espacial dos dados e implementação de um SIG foi o QGIS 3.10, que é um projeto da OSGeo (*Open Source Geospatial Foundation*) e definido em sua documentação como um SIG de código aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. O QGIS pode ser utilizado na criação, edição, visualização, análise e publicação de informações geográficas, bem como na conexão com Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) (QGIS, 2020).

### 3.3 APLICATIVO

Para a coleta dos dados do acelerômetro e GPS dos smartphones foi utilizado o aplicativo UTFPR-PB–USP. O aplicativo é parte do trabalho realizado pelo projeto de extensão, do qual este estudo faz parte, denominado “Avaliação da Condição de Pavimentos com Smartphones”, tendo sido desenvolvido por integrantes do Departamento Acadêmico de Informática (DAINF) da UTFPR - Campus Pato Branco.

O aplicativo pode ser utilizado em smartphones com sistema operacional Android e sua funcionalidade é de fornecer dados do GPS, acelerômetro e giroscópio presentes no aparelho. Para este trabalho, foram utilizados dados apenas do acelerômetro e GPS. Os dados gravados pelo acelerômetro consistem na aceleração nos três eixos, já os dados de GPS constituem nas coordenadas geográficas, satélites conectados e na velocidade do veículo. Ambos os sensores também permitem a gravação da data e hora da coleta do dado.

### 3.4 TAXA DE AQUISIÇÃO

Para a gravação dos dados utilizados, definiram-se duas taxas de aquisição de dados, com valores de 200 Hz para os sinais de aceleração vertical e 1 Hz para a aquisição dos dados GPS. As taxas foram escolhidas de acordo com a capacidade máxima de processamento dos smartphones utilizados no levantamento, pois a gravação de um número maior de acelerações possibilitaria uma representação mais detalhada do pavimento.

### 3.5 TRATAMENTO INICIAL

A primeira etapa do processamento tem como objetivo relacionar as duas fontes de dados diferentes: o IRI dado pelo perfilômetro e as acelerações obtidas com o smartphone. Para realizar a associação dos dados, as coletas de GPS e acelerômetro dos smartphones foram inseridas no QGIS, junto às medições do perfilômetro, que são constituídas por pontos de GPS espaçados a cada 100 e 500 metros. Como exibido na figura 1.

**Figura 1: Exemplo da distribuição espacial dos dados dos smartphones e perfilômetro**



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando o programa QGIS 3.10, 2021



Possuindo todas as coletas inseridas no software, o próximo passo foi traçar polígonos que representassem o trecho medido pelo perfilômetro. Esses polígonos acompanham o traçado da rodovia, a fim de englobar os pontos de GPS obtidos pelo smartphone, como demonstrado na figura 2.

**Figura 2: Determinação do traçado da rodovia**



**Fonte: Elaborado pelo autor utilizando o programa QGIS 3.10, 2021**

Depois da determinação dos polígonos, é possível associar os dados de GPS com os polígonos através da posição dos mesmos, utilizando a ferramenta “Associar atributos por local”, e exportá-los em formato de texto utilizando uma segunda ferramenta chamada “Dividir uma camada vetorial”. Com os dados separados por trecho e em formatos de texto, é possível realizar a aplicação dos filtros necessários.

### 3.6 FILTROS

Será utilizada a Transformada de Fourier para analisar os dados no domínio da frequência, bem como a aplicação de um filtro do tipo passa-banda com o objetivo de eliminar ruídos no sinal.

A aplicação da transformada de Fourier nos estudos de irregularidade longitudinal dos pavimentos tem como objetivo revelar a maneira com que a variação do perfil se distribui por um conjunto de senoides (SAYERS e KARAMIHAS, 1998).

Os parâmetros para a aplicação do filtro foram escolhidos conforme estudos realizados por Loureiro (2019, p. 48), onde foram realizados testes para determinar o comportamento das vibrações do motor de dois veículos distintos. Os resultados encontrados indicam que os picos de frequência dos motores iniciam em valores próximos de 20 Hz, logo, o filtro passa-banda será aplicado entre 0,2 e 20 Hz.

### 3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística dos dados, serão utilizadas análises de correlação, comparando os dados de IRI e de RMSVA e de variância, tomando o IRI como variável dependente e RMSVA como variável independente.

O conjunto de dados medidos pelos smartphones foi obtido em quatro níveis de velocidade, sendo cada um deles dentro de um intervalo de variação de velocidade.

Três dos conjuntos de dados tiveram suas velocidades estabelecidas em 40 km/h, 60 km/h e 80 km/h. Porém, não foi possível manter a velocidade constante durante todo o trajeto, logo, para a análise da influência da velocidade, foram descartados os dados medidos fora do intervalo de  $\pm 5$  km/h do valor proposto. Foram descartados também os dados de início e final de trajeto, pois esses representam a saída do veículo da inércia e a conversão para acesso à rodovia, como mostrado na figura 3. Para o quarto levantamento, não foi estabelecido uma velocidade específica, dando liberdade para o motorista quanto às acelerações e frenagens. Para este caso foi considerado um intervalo de variação entre 35 km/h e 135 km/h, além disso, também foi considerado a razão entre a aceleração vertical (RMSVA) e a velocidade no instante da medição.

**Figura 3 - Exemplo de dados correspondentes à manobra de saída da rodovia**



**Fonte: Elaborado pelo autor utilizando o programa QGIS 3.10, 2021**

### 3.8 ELABORAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Para alimentar o SIG com os resultados obtidos, é necessário delimitar dentro do ambiente QGIS os trechos de IRI analisados. Dentro do QGIS, foi utilizada a extensão de arquivo *shapefile* para gerar os dados vetoriais correspondentes ao levantamento realizado. Um arquivo *shapefile* é uma extensão usada em dados geoespaciais que permite armazenar a posição, forma e atributos de feições geográficas.

O processo inicia, como dito, ao delimitar a posição dos trechos utilizando os pontos de GPS coletados pelo perfilômetro e, usando imagens de satélite como referência, é desenhado um polígono acompanhando o alinhamento da rodovia para determinar a forma. Após determinados os dados espaciais, o próximo passo é associar os atributos descritivos obtidos pelo processamento e realizar a análise dos resultados.

Para a elaboração deste trabalho, optou-se por armazenar os resultados em um banco de dados utilizando o PostgreSQL, que é um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD), e conectá-los aos dados presentes no QGIS através da ferramenta PostGIS, que é uma extensão que permite a união dos dois tipos de dados.

Para a demonstração do uso de um SIG para a obtenção e visualização de dados, foram gerados mapas de calor baseados nos valores máximos e mínimos de IRI e RMSVA, com o objetivo de visualizar pontos críticos dentro do trecho. Como alternativa, foi escolhido a classificação dada pelo Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (BRASIL, 2006), usada para relacionar tipos de avaliação de irregularidade com um conceito, conforme tabela 2:

**Tabela 2 - Classificação do IRI**

<b>IRI (m/km)</b>	<b>Conceito</b>
1,0 - 1,9	Excelente
1,9 - 2,7	Bom
2,7 - 3,5	Regular
3,5 - 4,6	Ruim
> 4,6	Péssimo

**Fonte: (BRASIL, 2006)**

Para classificar a aceleração vertical, foi escolhida a classificação dada pela norma ISO 2631-1, adaptada conforme Bisconsini et al. (2021):

**Tabela 3 - Classificação para acelerações verticais da ISO 2631-1 adaptada**

<b>RMSVA (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Nível de Conforto</b>
< 0,315	Confortável
0,315 - 0,63	Um pouco Desconfortável
0,63 - 1,0	Razoavelmente desconfortável
1,0 - 1,6	Desconfortável
> 1,6	Muito Desconfortável

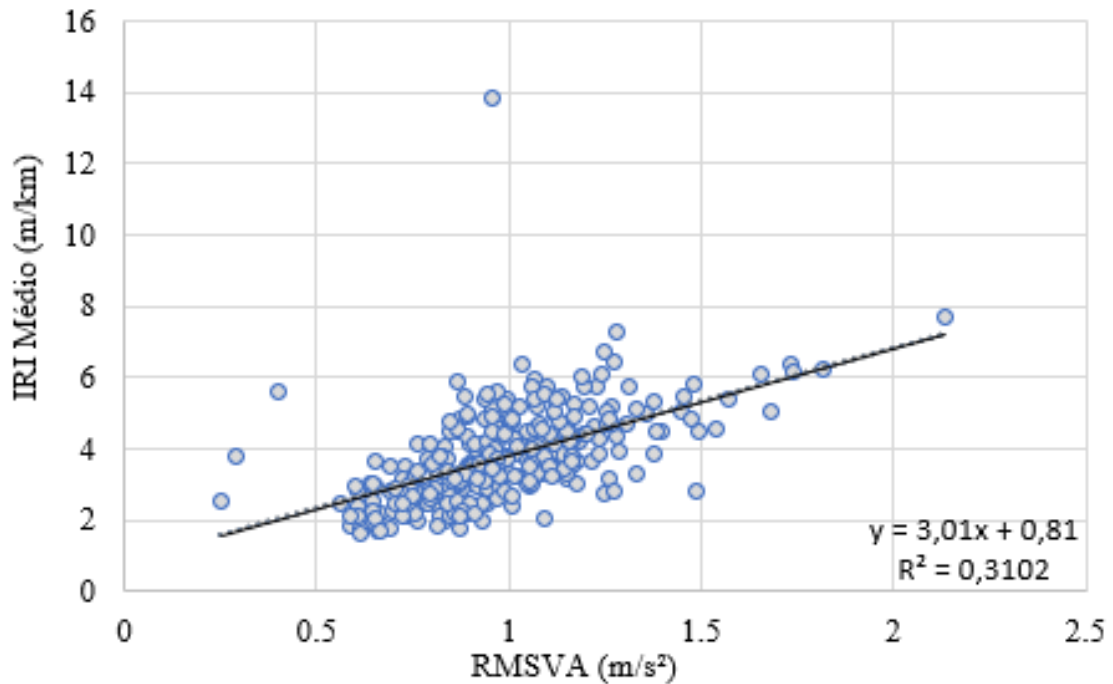
**Fonte: Bisconsini et al. (2021).**

## 4 RESULTADOS

### 4.1 GRÁFICOS DE DISPERSÃO

No gráfico da Figura 4, é apresentada a correlação entre IRI e RMSVA para o levantamento realizado a 40 km/h, sem aplicar o filtro passa-banda e sem descartar velocidades que ficaram fora do intervalo de  $40 \pm 5$  km/h.

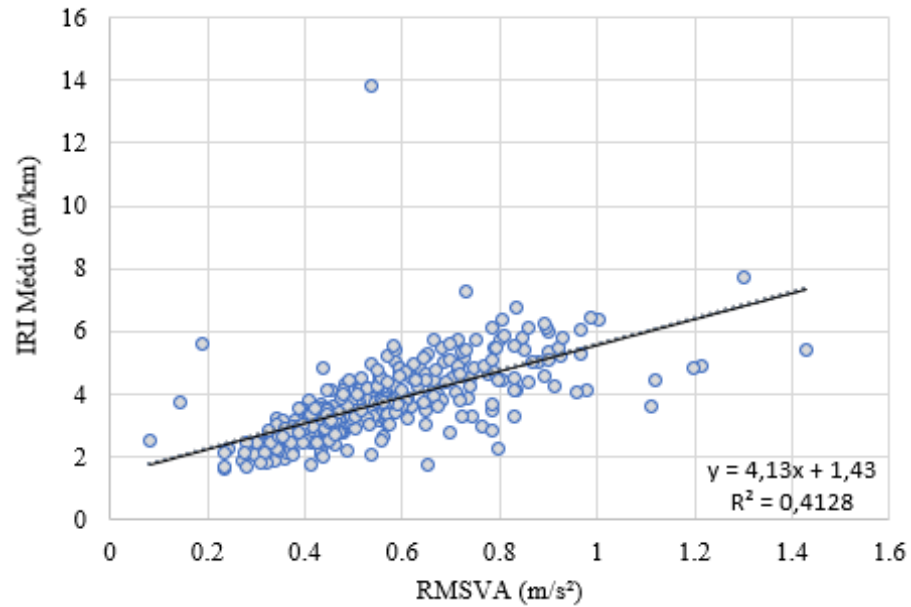
**Figura 4 - IRI Médio x RMSVA Sem Filtros**



Fonte: Autoria própria, 2021

O coeficiente de correlação de Pearson encontrado foi de  $r = 0,5570$ . Ao aplicar o filtro passa-banda de Fourier de 0,2 a 20 Hz, o coeficiente de correlação aumentou para  $r = 0,6425$ , como demonstrado no gráfico da Figura 5.

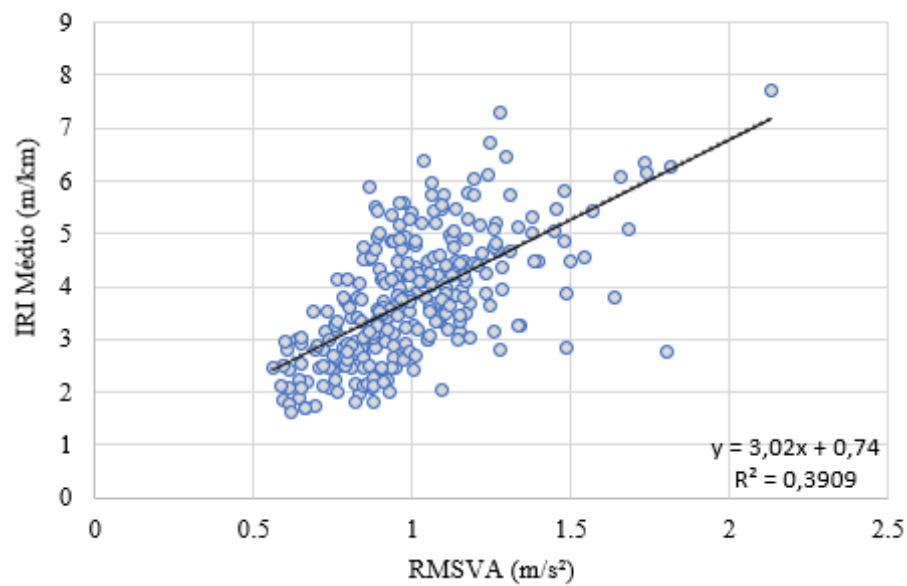
**Figura 5 - IRI Médio x RMSVA 0,2-20Hz**



**Fonte: Autoria própria, 2021**

O segundo filtro aplicado tem o objetivo de eliminar dados onde a velocidade obtida estava fora do intervalo estipulado (velocidade +/- 5 km/h). No gráfico da Figura 6 é mostrado o resultado apenas com o descarte dos dados e sem a aplicação do filtro de passa-banda.

**Figura 6 - IRI Médio x RMSVA - Filtro 0,2Hz**

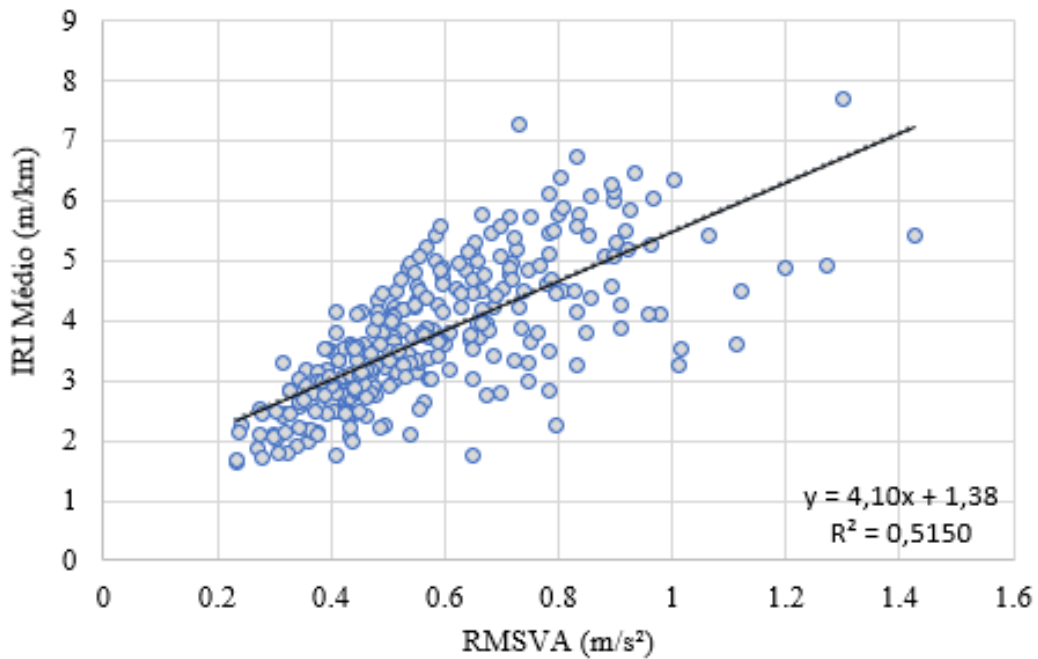


**Fonte: Autoria própria, 2021**

A partir do gráfico da Figura 10, observa-se que alguns valores mais distantes da linha de tendência, tidos como possíveis outliers, foram filtrados por esse processo e o coeficiente de determinação aumenta para  $R^2 = 0,3909$ , o que corresponde a um coeficiente de correlação  $r = 0,6252$ .

Ao aplicar o filtro passa-banda nesse conjunto de dados, foram obtidos os resultados exibidos no gráfico da Figura 7, onde o coeficiente de determinação obtido foi de  $R^2 = 0,5150$  com coeficiente de correlação  $r = 0,7176$ . O fato de o filtro de frequência aplicado causar um aumento de coeficiente de determinação se deve ao fato de que este pode eliminar frequências acima de 20 Hz que poderiam estar associadas a vibrações do motor do veículo, as quais não se relacionam com a irregularidade longitudinal de pavimentos, como indicado por Bisconsini et al. (2021).

**Figura 7 - IRI Médio x RMSVA - Filtro 0,2-20Hz**

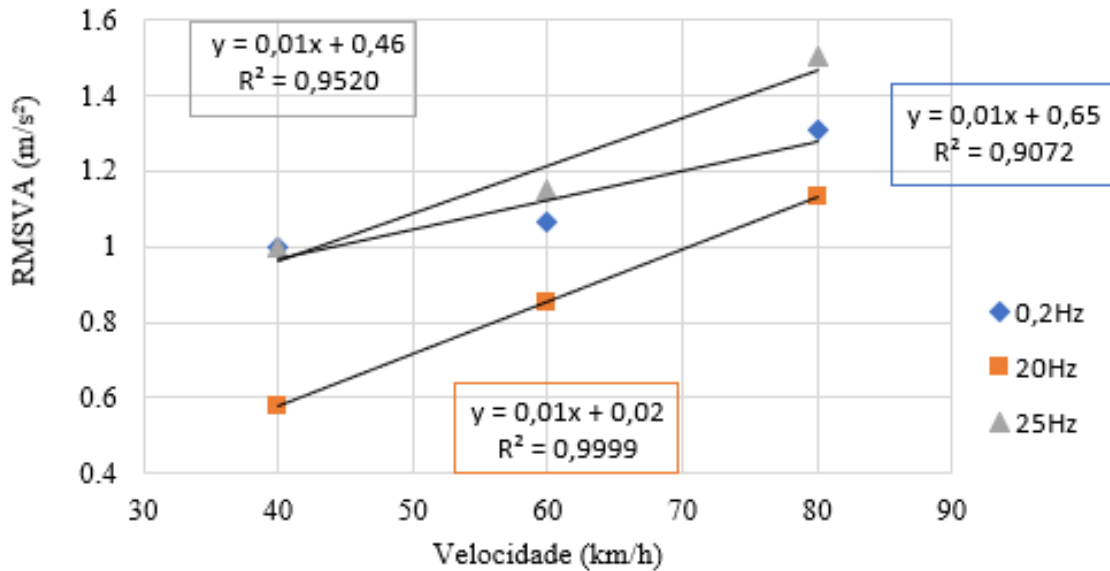


**Fonte: Autoria Própria, 2021**

#### 4.2 RMSVA MÉDIO

Outro fator analisado foi a relação entre a velocidade do veículo e a amplitude das acelerações verticais. Para isso, calculou-se o RMSVA médio do trecho para as velocidades analisadas, como mostrado no gráfico da Figura 12.

Figura 8 - RMSVA Médio x Velocidade



Fonte: Autoria própria, 2021

A partir da Figura 8, percebe-se que o RMSVA aparenta ter uma relação linearmente proporcional à velocidade em que o dado foi obtido, o que sugere a necessidade de analisar a aceleração vertical para diferentes velocidades. No entanto, seria importante analisar essa variação para mais velocidades para constatar essa tendência.

Para a exibição dos demais resultados, os coeficientes de correlação de Pearson (r), sem o descarte de dados de velocidade fora do intervalo de  $\pm 5$  km/h, foram condensadas na tabela 4. O levantamento onde não foi estipulado um valor constante para a velocidade foi denominado “Livre” e, para realizar a comparação com os outros levantamentos, o RMSVA foi dividido pela velocidade do veículo no momento da obtenção do dado.

Tabela 4 - Relação de Coeficientes (r) Sem Filtro de Velocidade

	0,2Hz - 100m	0,2-20Hz - 100m	0,2Hz - 500m	0,2-20Hz - 500m
40km/h	0,5570	0,6425	0,5326	0,6989
60km/h	0,6722	0,6773	0,6971	0,7255
80km/h	0,4804	0,4287	0,3653	0,4129
Livre*	0,4727	0,5276	0,2073	0,2341

\*RMSVA/Velocidade

Fonte: Autoria Própria, 2021

Após a aplicação do filtro de velocidade, os resultados obtidos são mostrados na tabela



**Tabela 5 - Relação de Coeficientes (r) Com Filtro de Velocidade**

	<b>0,2Hz - 100m</b>	<b>0,2-20Hz - 100m</b>	<b>0,2Hz - 500m</b>	<b>0,2-20Hz - 500m</b>
<b>40km/h</b>	0,6252	0,7176	0,7018	0,8485
<b>60km/h</b>	0,7276	0,7380	0,7622	0,8537
<b>80km/h</b>	0,6784	0,5953	0,6766	0,5533
<b>Livre*</b>	0,5739	0,6810	0,5136	0,6145

\*RMSVA/Velocidade

**Fonte: Autoria Própria, 2021**

A partir dos resultados da Tabela 4 e Tabela 5, nota-se que para as velocidades de 40 e 60 km/h a aplicação dos filtros aumenta a correlação dos dados. Além disso, nota-se que o aumento da extensão do trecho de análise de 100 para 500 metros, em geral, também tem um efeito positivo nos resultados. Para o levantamento onde não foi estabelecida uma velocidade específica, a aplicação dos filtros aumenta a correlação, porém o melhor resultado é obtido para trechos divididos a cada 100 metros.

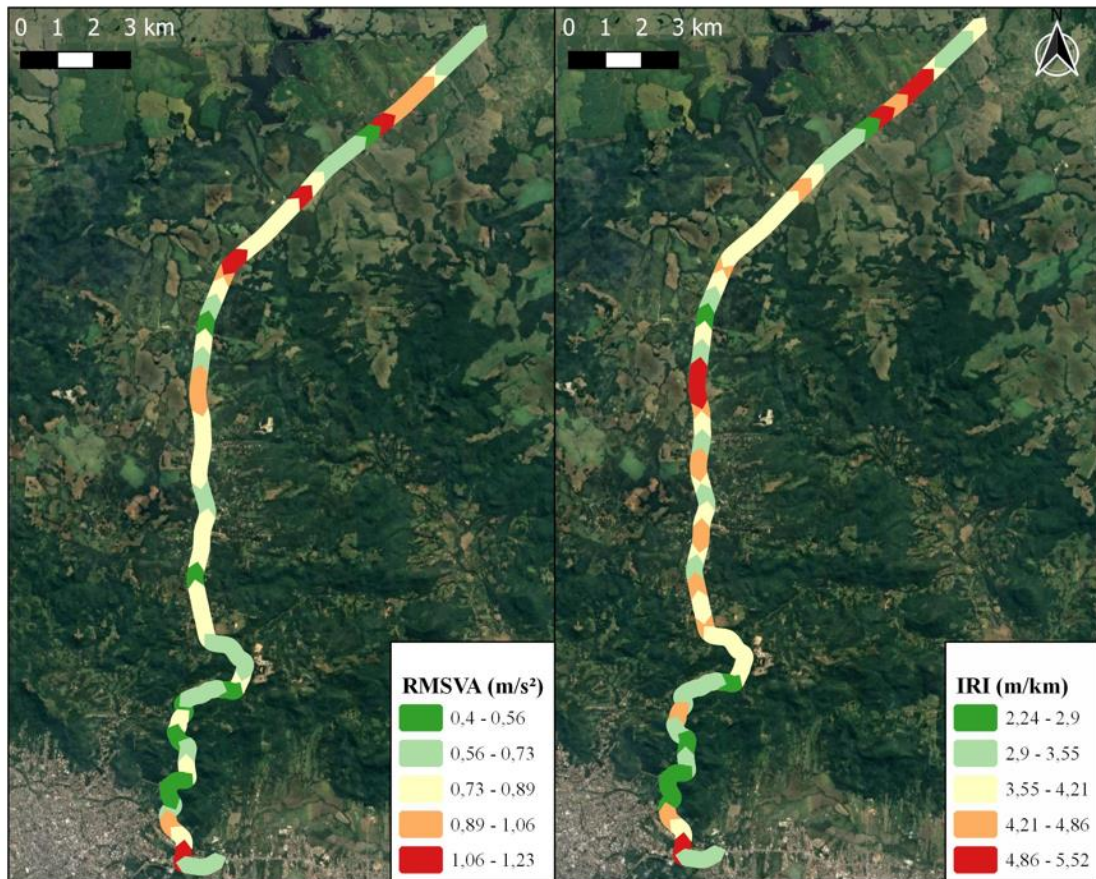
Como a correlação para a velocidade de 80 km/h diminuiu com a aplicação do filtro, podemos considerar que o filtro de passa-banda entre 0,2 e 20 Hz não é recomendável. Como demonstrado por Loureiro (2019), o pico de frequência das vibrações do motor varia conforme veículo e rotação do motor, o que indica que os parâmetros utilizados nos filtros não estão adequados para esta velocidade. Logo, para estudos futuros recomenda-se a utilização do filtro após uma análise das frequências do motor.

Devemos considerar também que o ruído causado pela vibração do motor não possui influência no resultado, dado que, para maiores velocidades, a amplitude das vibrações geradas pelas irregularidades aumenta.

#### 4.3 MAPAS

Para a elaboração dos mapas foi escolhido classificar os dados de aceleração através do menor e maior valor de RMSVA encontrado, dividindo em cinco categorias de intervalos iguais. O resultado da classificação para 60 km/h, com trechos de 500 m, é apresentado na figura 9.

**Figura 9 - Mapa de classificação por valores de aceleração mínimos e máximos, para 60 km/h**



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando o programa QGIS 3.10, 2021

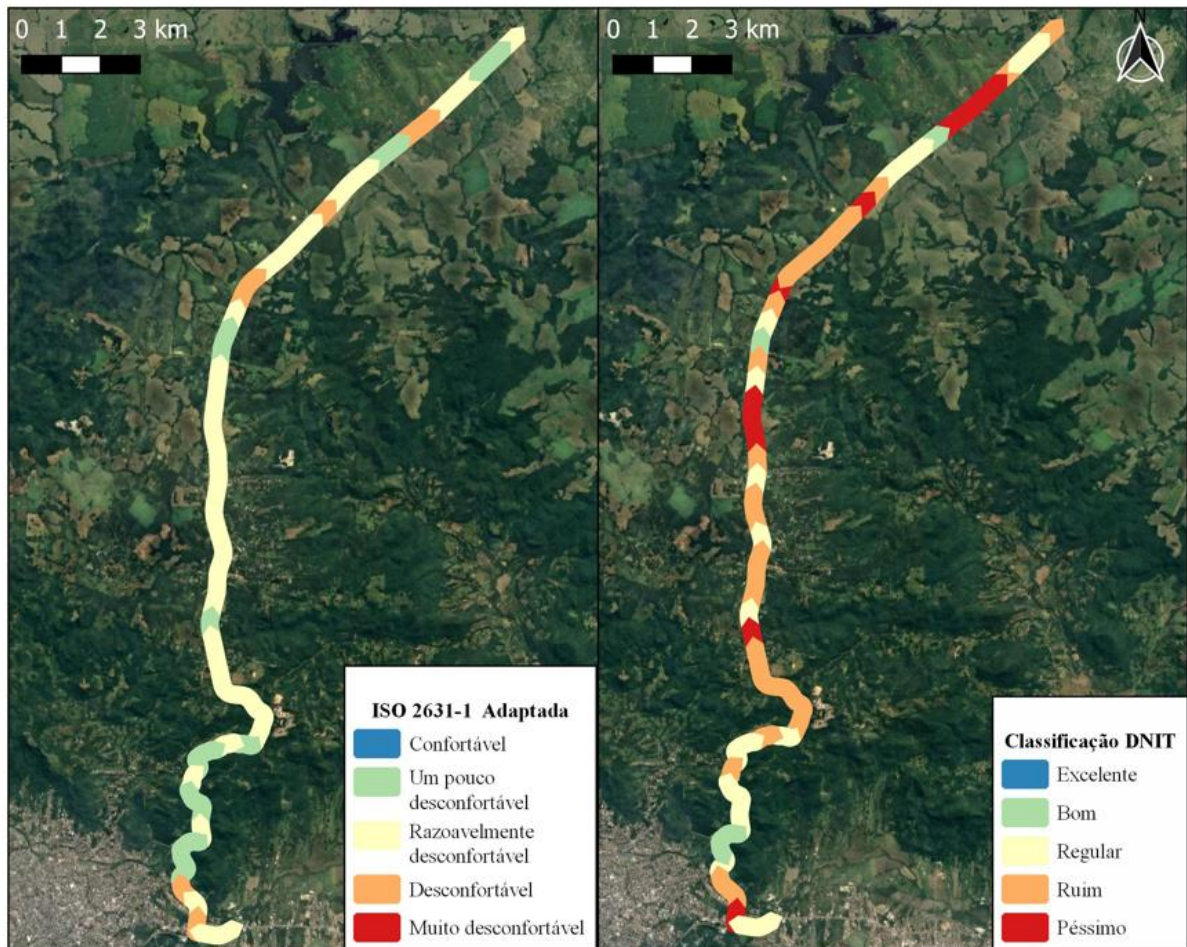
Percebe-se que para este tipo de mapa de calor, tanto a aceleração vertical quanto o IRI resultaram em classificações visualmente semelhantes, pois a classificação obtida foi a mesma em 36 dos 60 trechos, o que representa uma correspondência de 60% entre as fontes de dados.

Essa aplicação pode ser útil à gerência de pavimentos, uma vez que, apesar de não estar relacionada à uma classificação conhecida, indica os trechos com melhores e piores condições dentro de uma determinada extensão da rodovia, indicando seções que podem demandar mais atenções dos gestores. Essa correspondência da classificação de cores de IRI e RMSVA, no entanto, não se manteve na utilização de parâmetros oficiais, como apresentado na figura 10.

Nas classificações apresentadas na Figura 10, nota-se que para a aceleração vertical, a maioria dos trechos foi classificada de 0,315 a 0,63 m/s<sup>2</sup> e 0,63 a 1,0 m/s<sup>2</sup>, sendo essas faixas de valores associadas aos conceitos “pouco desconfortável” e “razoavelmente desconfortável”, respectivamente. Já para a classificação de IRI percebe-se uma predominância de trechos

classificados entre 3,5 e 4,6 m/km, o que corresponde a um IRI considerado “ruim”, segundo Brasil (2006).

**Figura 10 - Mapa de classificação por normas para 60 km/h**



**Fonte: Elaborado pelo autor utilizando o programa QGIS 3.10, 2021**

## 5 CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou a correlação entre dados de aceleração medidos por um smartphone, transformados em RMSVA (média quadrática) e a irregularidade longitudinal de um trecho de rodovia obtida por meio de um perfilômetro. O objetivo era analisar a influência de variáveis como a extensão do trecho, a velocidade e a aplicação de filtros na correlação entre os dados, sendo sugerido o uso dos dados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para fins de gerência de pavimentos, principalmente para aplicações em nível de rede.

Os resultados sugerem que a aplicação de um filtro de velocidade, que descarte dados onde a velocidade é distante da estipulada para o levantamento, tem um efeito positivo na correlação entre IRI e RMSVA, independente do trecho ou da velocidade.

Quanto ao comprimento dos trechos, o melhor resultado foi obtido para segmentos de 500 m, exceto quando a velocidade foi livre, simulando um levantamento com maior liberdade para o engenheiro. Neste caso, onde o melhor resultado foi obtido em segmentos de 100 m. Quanto à aplicação do filtro de Fourier passa-banda, é possível perceber que apenas o levantamento à 80 km/h não causou um aumento na correlação entre IRI e RMSVA. Este resultado pode indicar que, para velocidades maiores, é preciso estudar mais a fundo a influência da vibração do motor nas acelerações do smartphone, além de avaliar qual seria o pico de frequência das vibrações do motor a fim de determinar o melhor tipo de filtro passa-banda a ser aplicado.

Quanto à aplicação em SIG, a conexão dos resultados armazenados em um banco de dados aos elementos gráficos se mostrou viável, permitindo a geração de mapas temáticos da condição da via. Também foi possível visualizar uma boa correspondência as classificações de cores entre IRI e RMSVA quando utilizados os valores mínimos e máximos dos dados, o que pode ser útil à gerência de pavimentos para a identificação de seções que demandam atenção dentro de uma determinada rodovia. No entanto, essa correspondência não foi observada quando da utilização de classificações com parâmetros oficiais. Essa discrepância na classificação pode se dar ao fato desses parâmetros terem sido desenvolvidos com objetivos distintos e por órgãos diferentes, e não planejados para a comparação dos métodos aplicados neste trabalho.

Nota-se que os smartphones podem se tornar uma ferramenta útil no monitoramento de rodovias, entretanto, a pesquisa e aplicação do método demandam o uso de técnicas de

ciência de dados e de mapeamento, o que exige o treinamento de um possível usuário do sistema.

Além disso, também se mostraram necessárias pesquisas adicionais sobre o tema, pois há diversas variáveis que podem influenciar os resultados, bem como é preciso avaliar os parâmetros usados no processamento, como a amplitude da banda usada no filtro, visto que isso pode variar conforme a velocidade e impacto da vibração do motor nas acelerações medidas pelo smartphone.

## REFERÊNCIAS

BALBO, José. T. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, projeto e restauração**. São Paulo. Oficina de Textos, 2007.

BANDARA, S. GAMAGE, D. PASINDU, H. R. **Pavement Roughness Evaluation Method For Low Volume Roads**. Proceedings of the Eighth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements, 2016.

BARELLA, Rodrigo M. **Contribuição Para A Avaliação Da Irregularidade Longitudinal De Pavimentos Com Perfilômetros Inerciais**. São Paulo, 2008.

BISCONSINI, D. R. **Avaliação da Irregularidade Longitudinal dos Pavimentos com Dados Coletados por Smartphones**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016.

BISCONSINI, D. R. FARIAS, B. A. DE OLIVEIRA, R. A. BRESSANELLI, T. B. BUENO, M. P. de S. LUCAS, B. F. K. PEGORINI, V. FERNANDES Jr, J. L. **Monitoramento Da Irregularidade Longitudinal De Pavimentos Com Dados De Smartphones De Usuários**. PLURIS 2021 - Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, p. 2219-2231. Bauru – SP, 07-09 abril de 2021.

BUTTLAR, W. G.; ISLAM, S. **Effect of Pavement Roughness on User Costs**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.2285, p. 47-55. Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C, 2012.

BUTTLAR, W. G.; ISLAM, S. **Integration of Smartphone-Based-Pavement Roughness data collection tool with asset management system** USDOT Region V Regional University Transportation Center Final Report, 2014.

CAREY, W. N. E IRICK, P. E. **The Pavement Serviceability-Performance Concept**. Highway Research Board Bulletin, n. 250, USA, 1960.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019**. 2019. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/relatorio-gerencial>>. Acesso em: 19 de março de 2020.

COUTINHO, G. L. **A Era dos Smartphones: Um estudo Exploratório sobre o uso dos Smartphones no Brasil**. Faculdade de Comunicação. Comunicação social, habilitação em Publicidade e propaganda. UnB - Universidade de Brasília. Brasília DF, 2014.

BRASIL. **Método Nível e Mira para Calibração de sistemas Medidores de Irregularidade do Tipo Resposta**. Departamento Nacional De Estradas De Rodagem – DNER. 173/86. Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro, 1986.

BRASIL. Manual de Gerencia de Pavimentos. Publicação IPR-745. Ministério dos Transportes. Instituto de Pesquisa Rodoviárias. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transporte – DNIT. Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Publicação IPR-720. Instituto de Pesquisa Rodoviárias. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transporte – DNIT. Rio de Janeiro, 2006.

DOUANGPHACHANH, Viengnam. ONEYAMA, Hiroyuki. **A Study on the Use of Smartphones for Road Roughness Condition Estimation**. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.9, 2013

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA. **PNL 2035 – Plano Nacional de Logística**. Ministério da Infraestrutura. Brasília – DF, 2021.

ENTINE, Lynn. WALKER, Donald. **PASER Asphalt Roads Manual**. Madison, WI: Transportation Information Center, University of Wisconsin—Madison. 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GILLESPIE, T. D.; PATERSON, W. D. O.; SAYERS, M.W. **Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements**. World Bank Technical Paper Number 46, 1986.

HAAS, R., HUDSON, W. R. E ZANIEWSKI, J. **Modern Pavement Management**. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida, 1994.

HAJEK, Jerry J. KAZMIEROWSKI, Thomas J. MUSGROVE, Graham. **Switching to International Roughness Index**. Transportation Research Record 1643. 1998.

HANSON, T. R.; CAMERON, C. **Can a smartphone collect IRI data?** Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada –Transportation Innovations and Opportunities Fredericton, NB, Canada, 2012.

HUDSON, W. R. **Road Roughness: It's Elements and Measurement**. Transportation Research Record 836. 1981.

HUISMAN, O. DE BY, R. A. **Principles of Geographic Information Systems: An introductory textbook**. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, Países Baixos, 2009.

HVEEM, F. N. **Devices For Recording And Evaluating Pavement Roughness**. Transportation Research Board, Washington, D.C., 1960.

KARAMIHAS, Steven M. SAYERS, Michael W. **The Little Book of Profiling**. University of Michigan, 1998.

LOUREIRO, Jakeline. **Análise Das Variáveis Empregadas Em Um Sistema De Avaliação Da Irregularidade Longitudinal De Pavimentos Baseado No Uso De Smartphones**. 71 pags. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Pato Branco, 2019.



LOPES, S. B. PFAFFENBICHLER, P. EMBERGER, G. FERNANDES JR, J.L. **Uso de Modelagem Dinâmica de Sistemas Conectada a um SIG para a Gerência De Pavimentos Urbanos**. Revista Minerva: Pesquisa e Tecnologia, Vol. 6 nº 2. São Carlos, SP. 2009.

QGIS 3.10. Open Source Geospatial Foundation. 2021 Disponível em: <[https://www.qgis.org/pt\\_BR/site/forusers/download.html](https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html)> Acesso em: 01 jun. 2020.

QGIS. **The Leading Open-Source Desktop GIS**. Disponível em: <<https://www.qgis.org/en/site/about/index.html>> Acesso em: 01 out. 2020.

ROCHA, Cristine Fursel **O Transporte de Cargas no Brasil e sua Importância para a Economia**. Ijuí: UNIJUI, 2015.

ROTHFUSS, Patrick. **O Temor Do Sábio: A Crônica Do Matador Do Rei - Segundo Dia - 1ªed**. Ed. Arqueiro, 2011.

SAYERS, M. W. **On the Calculation of IRI from Longitudinal Road Profile**. Washington, D.C., 1995.

SILVA, Edna Lúcia da. MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ªed, Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2ªed, São Paulo: Pini, 2008.

STRAZDINS, G., MEDNIS, A. KANONIRS, G. ZVIEDRIS, R. SELAVO, L. **Towards vehicular sensor networks with android smartphones for roadsurface monitoring**. Second International Workshop on Networks of Cooperating Objects (CONET). Chicago, 2011

THIANDEE, P. WITCHAVANGKOON, B. SIRIMONTREE, S. LERTWORAWANICH, P. **An Experiment On Measurement Of Pavement Roughness Via Android-Based Smartphones**. International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. 2019