

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

CARINE LETÍCIA DA ROCHA

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NA IRREGULARIDADE
LONGITUDINAL DE UM TRECHO DA ERS-344 OBTIDA PELO
APLICATIVO SMARTIRI**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

CARINE LETÍCIA DA ROCHA

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NA IRREGULARIDADE
LONGITUDINAL DE UM TRECHO DA ERS-344 OBTIDA PELO
APLICATIVO SMARTIRI**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador:
Prof. Dr. Fábio Krueger da Silva.

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Rocha, Carine Letícia da
Análise das alterações na irregularidade longitudinal de um
trecho da ERS-344 obtida pelo aplicativo SmartIRI
/ Carine Letícia da Rocha; orientação de Fábio Krueger da
Silva. - Florianópolis, SC, 2022.
115 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de
Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção
Civil.

Inclui Referências.

1. Avaliação Funcional. 2. Condições do pavimento.
 3. Conforto ao Usuário. 4. Defeitos dos pavimentos.
- I. Krueger da Silva, Fábio. II. Instituto Federal de Santa
Catarina. III. Análise das alterações na irregularidade
longitudinal de um trecho da ERS-344 obtida pelo aplicativo
SmartIRI.

ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE UM TRECHO DA ERS-344 OBTIDA PELO APLICATIVO SMARTIRI

CARINE LETÍCIA DA ROCHA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheira Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 14 de março, 2022.

BANCA EXAMINADORA:


(assinado)
Fábio Krueger da Silva

Fábio Krueger da Silva
PROFESSOR
SIAPE 1695463
IPSC - Campus Florianópolis

Fábio Krueger da Silva, Dr. em Engenharia Civil

Documento assinado digitalmente



Fernanda Simoni Schuch
Data: 06/04/2022 21:40:48-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Fernanda Simoni Schuch, Dr^a. em Engenharia Civil

Documento assinado digitalmente



EDESIO ELIAS LOPES
Data: 07/04/2022 22:46:09-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Edésio Elias Lopes, Dr. em Engenharia Civil

Ao meu irmão, Luis Otávio, por todo apoio na elaboração dessa pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por toda força, coragem e proteção ao longo da minha formação acadêmica.

À minha família, por todo apoio e incentivo. Especialmente, minha mãe, que mesmo de longe, me transmitia muito carinho e força. Amo muito vocês!

Ao meu professor orientador, Fábio Krueger, por toda orientação e incentivo no desenvolvimento dessa pesquisa.

À professora Fernanda Schuch, por todo ensinamento ao longo da minha formação acadêmica e pelas considerações importantes em relação a essa pesquisa.

Ao Edésio, por toda paciência e conhecimento transmitido ao longo desses anos. Agradeço também por ter feito considerações relevantes para agregar ainda mais a esse trabalho.

Aos meus amigos, Matheus, Marco e Cristiano, que me deram muita força e se tornaram a minha segunda família enquanto estive em Florianópolis.

À minha amiga e companheira de faculdade, Joice, por sempre me ouvir, por todos os conselhos e parceira.

Por fim, agradeço a todos que conheci ao longo dessa jornada e que dividiram momentos importantes comigo.

RESUMO

Para os usuários de uma via, a qualidade do pavimento é um dos fatores mais importantes e que dificulta a circulação se em mal estado de conservação. A irregularidade longitudinal é uma das formas de obter a qualidade funcional de um pavimento e compreender o nível de conforto ao usuário da via. Devido a importância da avaliação funcional dos pavimentos, este trabalho buscou compreender a variação nos valores de irregularidade longitudinal, obtidos através de aplicativo para smartphone, em um trecho da rodovia ERS-344, localizado na cidade de Santa Rosa/RS, ao longo de 7 meses. Ainda, conjuntamente, foi realizado o levantamento dos defeitos encontrados no pavimento do trecho, a fim de verificar se houve aumento dos defeitos e relacioná-los com os dados de IRI obtidos. Com essa pesquisa foi possível compreender as variáveis encontradas ao realizar o acompanhamento da irregularidade longitudinal de um pavimento flexível, ao longo dos meses, com o aplicativo SmartIRI. Os valores de IRI obtidos não apresentaram um acréscimo ao longo dos meses, conforme esperado, a variação entre os levantamentos ocorreu de maneira irregular, mas, mesmo com essa variação, a classificação de conforto do pavimento manteve-se igual em todos levantamentos. Com as análises realizadas, percebe-se que a velocidade média impacta nos dados traduzidos pelo acelerômetro, bem como a variação da posição do veículo na via e também o ponto de início e término do levantamento no aplicativo, influenciando diretamente na variação irregular encontrada nos valores de IRI. Os defeitos do pavimento apresentaram um aumento significativo em sua dimensão, porém, ao analisar os dados, não foi possível relacionar o aumento na dimensão dos defeitos do pavimento com os dados de IRI obtidos, devido as variáveis encontradas se sobressaírem em relação aos defeitos. Concluiu-se que o aplicativo SmartIRI fornece uma previsão confiável da condição de conforto ao usuário, pois não houve variação da classificação dos segmentos, mesmo com a variação irregular dos valores de IRI.

Palavras-chave: Avaliação Funcional. Condições do pavimento. Conforto ao Usuário. Defeitos dos pavimentos.

ABSTRACT

For road users, the quality of the pavement is one of the most important factors and makes it difficult to move if it is in poor condition. The longitudinal irregularity is one of the ways to obtain the functional quality of a pavement and to understand the level of comfort to the road user. Due to the importance of the functional evaluation of the pavements, this work sought to understand the variation in the values of longitudinal irregularity, obtained through a smartphone application, in a section of the ERS-344 highway, located in the city of Santa Rosa/RS, along 7 months. Also, jointly, a survey of the defects found in the pavement of the stretch was carried out, in order to verify if there was an increase in the defects and to relate them with the IRI data obtained. With this research, it was possible to understand the variables found when monitoring the longitudinal irregularity of a flexible pavement, over the months, with the SmartIRI application. The IRI values obtained did not show an increase over the months, as expected, the variation between surveys occurred irregularly, but even with this variation, the pavement comfort rating remained the same in all surveys. With the analyzes carried out, it is clear that the average speed impacts the data translated by the accelerometer, as well as the variation of the vehicle's position on the road and also the start and end point of the survey in the application, directly influencing the irregular variation found in the values of IRI. The pavement defects showed a significant increase in their dimension, however, when analyzing the data, it was not possible to relate the increase in the dimension of the pavement defects with the IRI data obtained, due to the variables found to stand out in relation to the defects. It was concluded that the SmartIRI application provides a reliable prediction of the comfort condition to the user, as there was no variation in the classification of the segments, even with the variation of the IRI values.

Keywords: Functional Assessment. Pavement conditions. User Comfort. Pavement defects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama das etapas da pesquisa.....	19
Figura 2 - Representação esquemática das camadas do pavimento flexível.....	22
Figura 3 - Representação esquemática das camadas do pavimento semirrígido	23
Figura 4 – Representação esquemática das camadas do pavimento rígido	24
Figura 5 – Variação da serventia x Tráfego ou tempo.....	27
Figura 6 – Período recomendável para a manutenção dos pavimentos	28
Figura 7 - Variação do IRI dependendo do tipo de pista	29
Figura 8 - Representação de quarto de carro.....	30
Figura 9 - Classificação dos smartphones em relação aos outros equipamentos	32
Figura 10 – Eixos que definem as componentes de aceleração de um smartphone	34
Figura 11 - Página inicial do aplicativo SmartIRI	36
Figura 12 - Mapa gerado pelo SmartIRI	37
Figura 13 - Funcionamento da coleta de dados através de smartphones	37
Figura 14 - Representação esquemática de Trincas dos Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos	39
Figura 15 - Trinca Isolada Transversal.....	40
Figura 16 - Trinca Isolada Longitudinal	41
Figura 17 - Trinca Interligada – Tipo Couro de Jacaré ou por Fadiga	42
Figura 18 - Trinca Interligada – Tipo Bloco	43
Figura 19 - Afundamento ou Deformação Permanente.....	44
Figura 20 - Desgaste do pavimento	45
Figura 21 – Panela / Buraco.....	46
Figura 22 - Ondulação no pavimento	47
Figura 23 - Escorregamento do pavimento	48
Figura 24 - Exsudação do pavimento.....	48
Figura 25 - Medição dos defeitos de superfície do pavimento	49
Figura 26 - Localização da rodovia ERS-344 no Estado do Rio Grande do Sul	54
Figura 27 - Trecho adotado (aproximadamente 500 m - ida)	55
Figura 28 - Detalhe do trecho escolhido.....	56
Figura 29 - Localização do trecho de estudo.....	57
Figura 30 - Trecho de Estudo.....	57
Figura 31 - Fluxograma do método de pesquisa.....	59

Figura 32 - Smartphone fixado no veículo.....	61
Figura 33 - Fixadores de <i>smartphones</i> testados no levantamento.....	63
Figura 34 - Demarcação do trecho de estudo	64
Figura 35 - Rota para levantamento da irregularidade longitudinal.....	67
Figura 36 - Levantamento dos defeitos no pavimento.....	69
Figura 37 - Demarcação de controle dos defeitos.....	70
Figura 38 – Defeito 1 do segmento 1	77
Figura 39 - Mapa das coordenadas geográficas do Segmento 1	96
Figura 40 - Mapa das coordenadas geográficas do Segmento 2.....	97
Figura 41 - Mapa das coordenadas geográficas do Segmento 3.....	97
Figura 42 - Mapa das coordenadas geográficas do Segmento 4.....	98
Figura 43 - Mapa das coordenadas geográficas do Segmento 5.....	98
Figura 44 - Evolução dos defeitos do Segmento 1	100
Figura 45 - Evolução dos defeitos do Segmento 2.....	100
Figura 46 - Evolução dos defeitos do Segmento 3.....	101
Figura 47 - Evolução dos defeitos do Segmento 4.....	101
Figura 48 - Evolução dos defeitos do Segmento 5.....	102

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - IRI x Tempo do Segmento 1	74
Gráfico 2 - IRI x Velocidade do Segmento 1	75
Gráfico 3 - IRI x Tempo do Segmento 2	79
Gráfico 4 - IRI x Velocidade do Segmento 2	80
Gráfico 5 - IRI x Tempo do Segmento 3	83
Gráfico 6 - IRI x Velocidade do Segmento 3	84
Gráfico 7 - IRI x Tempo do Segmento 4	86
Gráfico 8 - IRI x Velocidade do Segmento 4	87
Gráfico 9 - IRI x Tempo do Segmento 5	90
Gráfico 10 - IRI x Velocidade do Segmento 5	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Levantamentos de IRI (m/km)	71
Quadro 2 - Levantamento de IRI do Segmento 1	73
Quadro 3 - Resumo dos valores de IRI para o Segmento 1	73
Quadro 4 - Defeitos de superfície do pavimento no Segmento 1	76
Quadro 5 - Levantamento de IRI do Segmento 2	77
Quadro 6 - Resumo dos valores de IRI para o Segmento 2	78
Quadro 7 - Velocidade média e valores de IRI do segmento 2	80
Quadro 8 - Defeitos de superfície do pavimento no Segmento 2	81
Quadro 9 - Levantamento de IRI do Segmento 3	81
Quadro 10 - Resumo dos valores de IRI para o Segmento 3	82
Quadro 11 - Velocidade média e valores de IRI do segmento 3	83
Quadro 12 - Defeitos de superfície do pavimento no Segmento 3	84
Quadro 13 - Levantamento de IRI do Segmento 4	85
Quadro 14 - Resumo dos valores de IRI para o Segmento 4	85
Quadro 15 - Velocidade média e valores de IRI do segmento 4	87
Quadro 16 - Defeitos de superfície do pavimento no Segmento 4	88
Quadro 17 - Levantamento de IRI do Segmento 5	88
Quadro 18 - Resumo dos valores de IRI para o Segmento 5	89
Quadro 19 - Defeitos de superfície do pavimento no Segmento 5	91
Quadro 20 - Relação de latitude e longitude dos segmentos	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor de Serventia Atual.....	26
Tabela 2 - Classificação proposta pelo SmartIRI	36
Tabela 3 - Cronograma dos levantamentos de IRI e defeitos do pavimento	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNT	Confederação Nacional dos Transportes
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IRI	“International Roughness Index” – Índice de Rugosidade Internacional
VSA	Valor de Serventia Atual
RMS	Root Mean Square - Raiz Média Quadrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa	17
1.2	Definição do Problema	18
1.3	Objetivo Geral	18
1.4	Objetivos Específicos	19
1.5	Estrutura do Trabalho	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	Tipos de Pavimentos	21
2.1.1	Pavimento flexível	21
2.1.2	Pavimento semirrígido	22
2.1.3	Pavimento rígido	23
2.2	Avaliação dos pavimentos	24
2.2.1	Avaliação Funcional	25
2.2.1.1	<i>Serventia Atual</i>	25
2.2.1.2	<i>Irregularidade Longitudinal</i>	28
2.3	Utilização de smartphones na avaliação funcional dos pavimentos ..	31
2.3.1	Conveniência e Acurácia.....	31
2.3.2	Smartphones como alternativa na avaliação de irregularidade longitudinal dos pavimentos	33
2.3.2.1	<i>SmartIRI</i>	35
2.4	Defeitos em Pavimentos Flexíveis	38
2.4.1	Fenda	38
2.4.2	Fissura	39
2.4.3	Trincas	39
2.4.4	Trinca Isolada Transversal	40
2.4.5	Trinca Isolada Longitudinal	40
2.4.6	Trinca interligada tipo “Couro de Jacaré” ou por fadiga	41
2.4.7	Trinca interligada tipo “Bloco”.....	42
2.4.8	Afundamento ou Deformação Permanente	43
2.4.9	Afundamento Plástico	44
2.4.10	Afundamento de consolidação	44
2.4.11	Desgaste	45
2.4.12	Buracos ou Painelas	45
2.4.13	Remendo.....	46
2.4.14	Remendo profundo	46
2.4.15	Remendo superficial	46
2.4.16	Ondulação ou Corrugação	47
2.4.17	Escorregamento	47
2.4.18	Exsudação	48
2.4.19	Procedimento de avaliação dos defeitos de pavimentos flexíveis e semi-rígidos	49
3	TRABALHOS SIMILARES	49
4	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	53
4.1	Rodovia de estudo	53
4.1.1	Trecho de estudo	54

5	MÉTODO DA PESQUISA	58
5.1	Infraestrutura Necessária	60
5.1.1	Veículo utilizado	65
5.2	Levantamento dos dados	65
5.2.1	Levantamento dos defeitos do pavimento.....	68
5.2.2	Análise dos resultados	70
6	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	71
6.1	Análise e discussão dos resultados	92
6.1.1	Velocidade média.....	92
6.1.2	Acelerômetro.....	93
6.1.3	Posição na via e distância percorrida.....	94
6.1.4	Defeitos no pavimento	99
6.1.5	Análise do uso do aplicativo SmartIRI para acompanhamento da Irregularidade Longitudinal.....	102
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
7.1	Sugestões para trabalhos futuros	104
	REFERÊNCIAS	106
	ANEXO I	111

1 INTRODUÇÃO

A medida em que se busca dados relacionados aos modais de transporte no país, nota-se a importância do modal rodoviário para a movimentação de cargas e pessoas no Brasil. Segundo o Boletim Estatístico da CNT (2021), 64,86% de toda movimentação anual, de cargas e pessoas, é realizada através do modal rodoviário.

Ao considerar a importância do modal rodoviário para a circulação de cargas e pessoas no país, compreende-se que as rodovias devem garantir trafegabilidade em qualquer época do ano e sob quaisquer condições adversas do clima, além de proporcionar aos usuários conforto ao rolamento e segurança. (BERNUCCI et al., 2010)

O conforto e segurança do usuário ao trafegar por uma rodovia está intimamente ligado à um bom desempenho funcional do pavimento. Em relação ao desempenho do pavimento, Bernucci et al. (2010) define:

O desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se a capacidade de suporte e a durabilidade compatível com o padrão da obra e o tipo de tráfego, bem como o conforto ao rolamento e a segurança dos usuários. (BERNUCCI et al., 2010, p. 403).

O desempenho inadequado do pavimento, resultante de falhas de projeto e/ou de execução, do excesso de cargas e da falta de manutenção e restauração viária, resulta em defeitos na superfície do pavimento. O levantamento de dados, relacionado ao desempenho funcional do pavimento, controle da evolução de defeitos e definição de manutenções e restaurações viárias é responsabilidade do gestor de uma via, o qual deverá garantir que o pavimento tenha condições adequadas de trafegabilidade.

No Brasil, um dos métodos de análise subjetiva da condição de trafegabilidade do pavimento é o Valor de Serventia Atual (VSA). Além do VSA, outro parâmetro relacionado as condições superficiais do pavimento, é nomeado International Roughness Index (IRI), o qual, em síntese, mensura o nível de irregularidade da superfície.

A fim de proporcionar o desempenho adequado ao pavimento, ao longo de sua vida útil, é necessário ter ciência de seu estado de conservação estrutural e funcional, o que se obtêm através de avaliações. Os processos envolvidos ao longo dessas avaliações, geralmente, tornam-se demorados e custosos, portanto, o desenvolvimento de softwares e aplicativos para avaliação dos pavimentos torna esses levantamentos facilmente aplicáveis.

Existem muitos equipamentos para mensurar a irregularidade longitudinal dos pavimentos, porém há conflitos entre as classes dos sistemas de medição, envolvendo acurácia/precisão e conveniência/exatidão, portanto ainda não há uma maneira de medir a irregularidade longitudinal dos pavimentos com, simultaneamente, precisão, exatidão, alto rendimento e baixo custo. (BISCONSINI, 2016).

Deste modo, considerando o pressuposto, o presente trabalho buscou analisar as alterações sofridas na irregularidade longitudinal de um pavimento ao longo dos meses, obtidas através de aplicativo para *smartphone* e, simultaneamente, monitorar os defeitos de superfície desse pavimento, a fim de avaliar o nível de precisão e exatidão do aplicativo para as modificações ocorridas nesse pavimento.

1.1 Justificativa

O desempenho funcional do pavimento está relacionado às demandas estruturais (esforços atuantes no subleito e camadas estruturais) e demandas funcionais (vida útil e tráfego). O pavimento, ao longo da vida útil, devido ao tráfego, deficiências construtivas, intempéries e, ainda, devido às características dos materiais, sofre deformações que podem se tornar grandes defeitos se não restaurado.

A fim de interpretar a necessidade de manutenção ou restauração do pavimento, do tempo necessário entre essas e do nível de trafegabilidade do pavimento, é imprescindível realizar o acompanhamento do conforto ao rolamento ao longo do tempo.

A coleta de dados, para fins de avaliação do desempenho funcional do pavimento, é facilmente viabilizada quando se tem tecnologias avançadas para este fim. O uso de aplicativos para *smartphones* torna a coleta de dados mais econômica,

ágil e de fácil operação, porém ainda há poucos estudos relacionados ao potencial dos *smartphones* para realizar acompanhamento da irregularidade longitudinal de um pavimento ao longo dos meses.

Considerando o pressuposto, com essa pesquisa, foram analisadas as alterações sofridas na irregularidade longitudinal de um trecho da ERS-344, ao longo dos meses, obtidas através de aplicativo para *smartphone* (*SmartIRI*). Ainda, a obtenção dos dados através de aplicativo para *smartphone* auxiliou na compreensão das barreiras encontradas no acompanhamento de irregularidade longitudinal dos pavimentos através de dispositivos móveis.

Do mesmo modo, considerando a relação dos defeitos do pavimento com o conforto ao usuário e, compreendendo que a irregularidade longitudinal do pavimento traduz o conforto do usuário ao trafegar pela via, nesse trabalho será realizado o acompanhamento dos defeitos de superfície do pavimento encontrados no trecho de estudo.

1.2 Definição do Problema

O cenário a ser estudado nesta pesquisa envolve a análise das alterações na irregularidade longitudinal de um pavimento flexível, obtida através de aplicativo para *smartphone*, ao longo dos meses.

Dentro deste contexto, é possível fazer uma análise temporal, com precisão e exatidão, da irregularidade longitudinal de um pavimento flexível numa rodovia de tráfego elevado através de um aplicativo para *smartphone*?

1.3 Objetivo Geral

Analisar as alterações nos parâmetros de irregularidade longitudinal, através de dados coletados pelo aplicativo *SmartIRI*, buscando compreender as modificações que acontecem, em um mesmo segmento da rodovia ERS-344, do município de Santa Rosa/RS, ao longo dos meses.

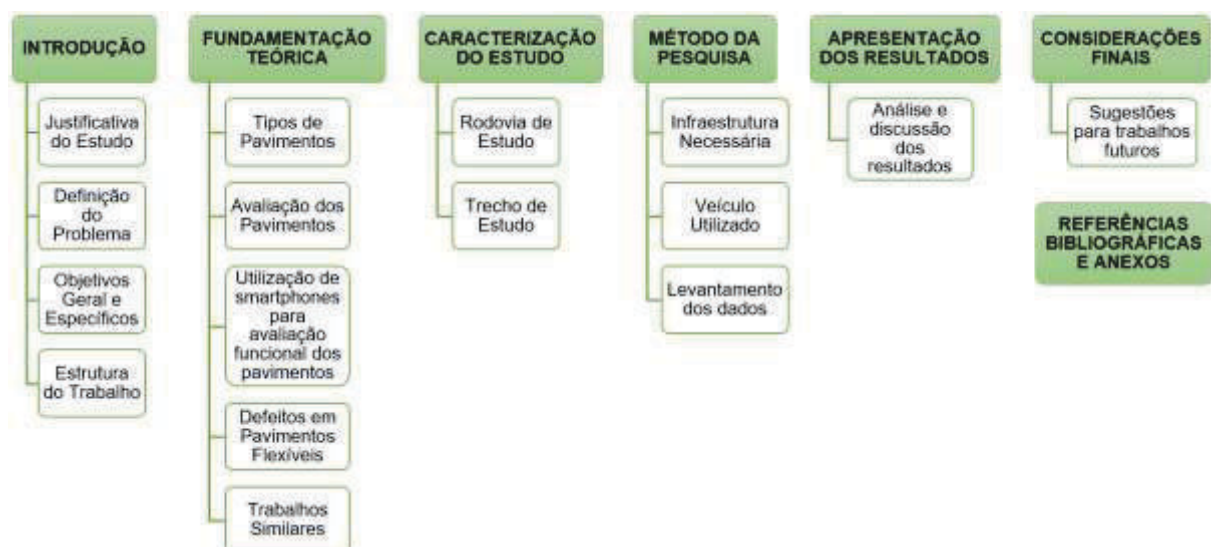
1.4 Objetivos Específicos

1. Realizar levantamentos no trecho de estudo em intervalos de aproximadamente 30 dias, durante os meses de agosto/2021 a fevereiro/2022;
2. Acompanhar, de forma visual e através de medições, a evolução dos defeitos de superfície encontrados ao longo do pavimento;
3. Analisar os defeitos de superfície do pavimento encontrados no trecho, avaliando a recorrência de cada tipo de defeito e sua evolução ao longo dos meses;
4. Comparar os dados levantados, analisando as possíveis causas das variações na irregularidade longitudinal;
5. Avaliar o uso do aplicativo SmartIRI para acompanhamento da irregularidade longitudinal dos pavimentos.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho foi realizado conforme as etapas descritas abaixo. Na Figura 1 é possível visualizar as etapas da pesquisa.

Figura 1 - Diagrama das etapas da pesquisa



Fonte: Elaboração própria (2022).

- O capítulo 1 apresenta a introdução, justificativa da pesquisa, definição do problema, objetivos gerais e específicos e, por fim, a estrutura do trabalho;
- O capítulo 2 aborda os conceitos fundamentais ao estudo proposto, consultados nas bibliografias disponíveis, a fim de adquirir embasamento teórico para a pesquisa;
- O capítulo 3 aborda a caracterização do trecho de estudo e as considerações realizadas para a pesquisa;
- O capítulo 4 apresenta o método de pesquisa aborda-se o método, a infraestrutura necessária para realização do levantamento da irregularidade longitudinal do pavimento e dos defeitos;
- No capítulo 5 é apresentado os resultados encontrados na pesquisa e a análise dos dados obtidos;
- No capítulo 6 consta as considerações finais da pesquisa, além das sugestões para trabalhos futuros;
- O capítulo 7 apresenta as referências bibliográficas que embasaram essa pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os aspectos técnicos referente a avaliação funcional do pavimento asfáltico flexível através do aplicativo SmartIRI, buscando compreender as variáveis que influenciam na qualidade funcional dos pavimentos. Para isso, serão abordados, de maneira breve, os tipos de pavimentos suas principais diferenças e funções, após, será introduzida as principais considerações sobre avaliação funcional dos pavimentos, incluindo a serventia atual dos pavimentos e as verificações de irregularidade longitudinal.

Ainda, será abordado a utilização de *smartphones* para medição de irregularidade longitudinal, os diferentes tipos de defeitos encontrados no pavimento e, por fim, trabalhos semelhantes ao tema proposto neste estudo.

2.1 Tipos de Pavimentos

Os pavimentos, segundo Bernucci et al. (2010):

são estruturas de múltiplas camadas, sendo o revestimento a camada que se destina a receber a carga dos veículos e mais diretamente a ação climática. Portanto, essa camada deve ser tanto quanto possível impermeável e resistente aos esforços de contato pneu-pavimento em movimento, que são variados conforme a carga e a velocidade dos veículos. (BERNUCCI et al., 2010, p. 157).

Os pavimentos, independentemente de sua estrutura, devem suportar as solicitações sofridas, garantir trafegabilidade e condições de segurança aos usuários ao longo de sua vida útil. A seguir, serão apresentados os tipos de pavimento mais usuais.

2.1.1 Pavimento flexível

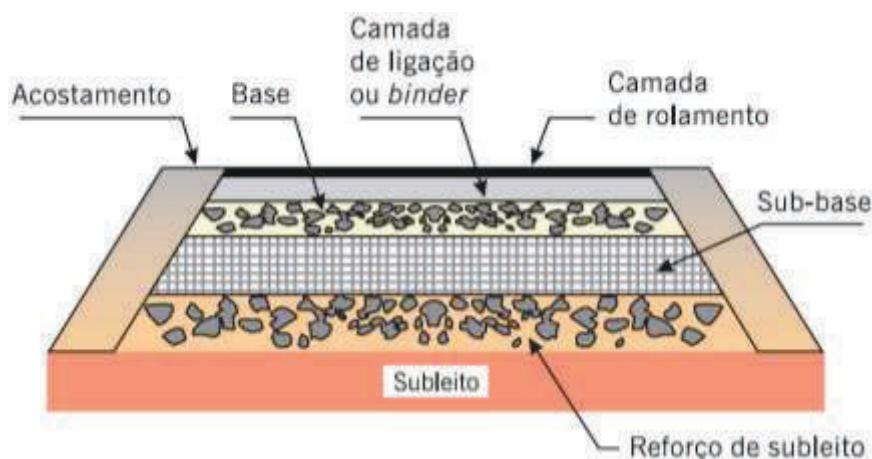
O pavimento flexível, é “aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.” (DNIT, 2006, p. 95).

As camadas do pavimento flexível são descritas por Coelho Júnior e Rocha (2013) da seguinte forma:

- Regularização do Subleito: Camada de espessura variável, executada quando se torna necessário preparar o leito da estrada para receber o pavimento; a regularização não constitui, propriamente, uma camada do pavimento, pois tem espessura variável, podendo ser nula em um ou mais pontos da seção transversal.
- Reforço do Subleito: Camada existente, no caso de pavimentos muito espessos, executada com o objetivo de reduzir a espessura da própria sub-base.
- Sub-Base: Camada complementar à base, com as mesmas funções desta e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura da base.
- Base: Camada destinada a resistir diretamente às ações dos veículos e a transmiti-las, de forma conveniente, ao subleito.
- Revestimento: Camada destinada a resistir diretamente às ações danosas do tráfego, a impermeabilizar o pavimento, a melhorar as condições de rolamento, no que se refere ao conforto e à segurança, e a transmitir, de forma atenuada, as ações do tráfego às camadas inferiores. (COELHO JÚNIOR e ROCHA, 2013, p. 19).

Na Figura 2 abaixo, estão representadas as camadas do pavimento flexível.

Figura 2 - Representação esquemática das camadas do pavimento flexível



Fonte: Bernucci et al (2010).

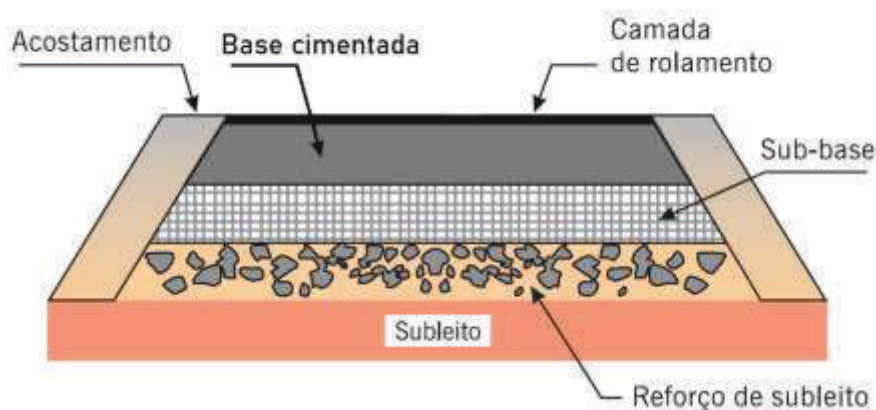
2.1.2 Pavimento semirrígido

O pavimento semirrígido, segundo o Manual de Pavimentação do DNER (2006, p. 95), “caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com

propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.”

Na Figura 3 abaixo, estão representadas as camadas do pavimento semirrígido.

Figura 3 - Representação esquemática das camadas do pavimento semirrígido



Fonte: Adaptado de Bernucci et al (2010).

2.1.3 Pavimento rígido

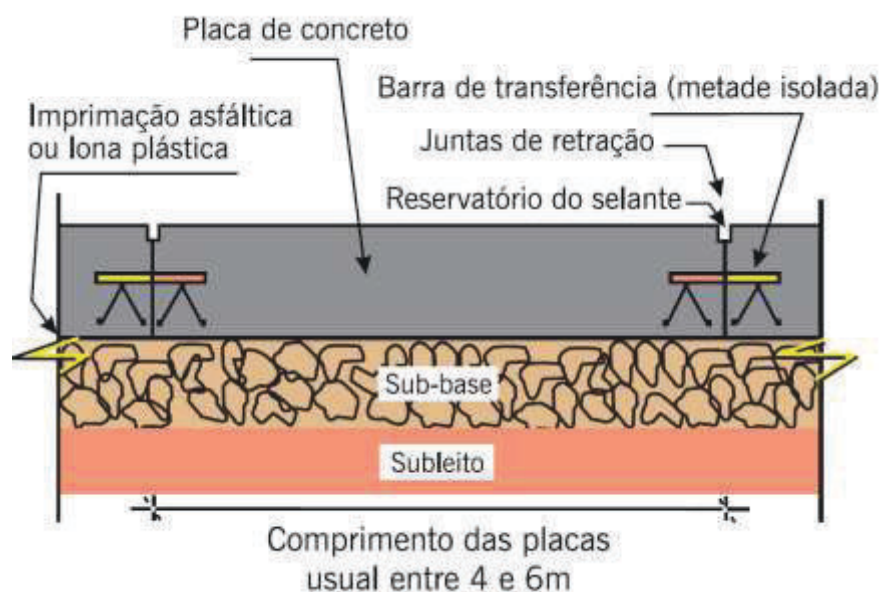
O pavimento rígido, segundo o Manual de Pavimentação do DNER (2006, p. 95), é “aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.”

As camadas do pavimento rígido são descritas por Coelho Júnior e Rocha (2013) da seguinte forma:

- Placa de concreto de cimento: Camada que desempenha ao mesmo tempo o papel de revestimento e de base.
- Sub-base: Camada empregada, com o objetivo de melhorar a capacidade de suporte do subleito, ou evitar o fenômeno de bombeamento de solos subjacentes à placa de concreto de cimento. (COELHO JÚNIOR; ROCHA, 2013, p. 20).

Na Figura 4 abaixo, estão representadas as camadas do pavimento rígido.

Figura 4 – Representação esquemática das camadas do pavimento rígido



Fonte: Bernucci et al (2010).

2.2 Avaliação dos pavimentos

A avaliação de pavimentos, segundo Bernucci et al. (2010), tem como conceitos associados:

- serventia: qualidade do pavimento, num determinado instante, quanto aos aspectos para o qual foi construído em relação ao conforto ao rolamento e segurança;
- desempenho: variação da serventia ao longo do tempo (ou do tráfego) de uso do pavimento;
- gerência: administração, gestão e otimização dos recursos aplicada ao planejamento, projeto, construção, manutenção e avaliação dos pavimentos;
- restauração: conjunto de operações destinadas a restabelecer na íntegra ou em parte as características técnicas originais de um pavimento (intervenções); incluem as ações de manutenção denominadas preventivas e reforço;
- manutenção preventiva: operação de correções localizadas que não atingem a maioria da superfície do pavimento, repondo pequena parcela da condição de serventia;
- reforço: operação de restauração onde se aproveita o valor residual da estrutura do pavimento e acrescenta-se nova camada de mistura asfáltica (também dito recapeamento);
- reconstrução: operação de refazer o pavimento, no todo desde o subleito, ou por retirada total dos materiais de base e revestimentos antigos e substituição por novos materiais ou por reciclagem dos mesmos [...]. (BERNUCCI et al., 2010, p. 441).

A avaliação dos pavimentos é composta por Avaliação Funcional e Estrutural. A parcela funcional está relacionada a superfície do pavimento e ao conforto do usuário, já a parcela estrutural, de acordo com Bernucci et al. (2010, p. 441), está “associada aos danos ligados à capacidade de carga do pavimento.”

Neste trabalho será avaliado apenas a parcela funcional, a fim de definir as condições de superfície do pavimento no trecho de estudo.

2.2.1 Avaliação Funcional

“A avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à apreciação do estado de sua superfície e de como este estado influencia no conforto ao rolamento.” (BRASIL, 2011, p. 45). Para este fim, dois parâmetros da avaliação são bastante consistentes: o Valor da Serventia Atual (VSA) e o Índice de Irregularidade Internacional (IRI). (BRASIL, 2011)

Os parâmetros de avaliação do pavimento são alterados conforme surgem defeitos/irregularidades na superfície do pavimento. Segundo Bernucci et al. (2010):

Os defeitos de superfície são os danos ou deteriorações na superfície dos pavimentos asfálticos que podem ser identificados a olho nu e classificados segundo uma terminologia normatizada (DNIT 005/2003-TER-DNIT, 2003a). O levantamento dos defeitos de superfície tem por finalidade avaliar o estado de conservação dos pavimentos asfálticos e embasa o diagnóstico da situação funcional para subsidiar a definição de uma solução tecnicamente adequada e, em caso de necessidade, indicar a melhor ou melhores alternativas de restauração do pavimento (BERNUCCI et al., 2010, p. 413).

2.2.1.1 Serventia Atual

A Serventia Atual de acordo com a norma DNIT 009-PRO (2003c, p. 2), é a “capacidade de um trecho específico de pavimento de proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego”. Ainda, segundo Bernucci et al. (2010):

A avaliação funcional de um pavimento relaciona-se a apreciação da superfície dos pavimentos e como este estado influencia no conforto ao rolamento. O primeiro método estabelecido de forma sistemática para a avaliação funcional foi o da serventia de um dado trecho de pavimento, concebida por Carey e Irick (1960) para as pistas experimentais da AASHO (American Association of State Highway Officials, hoje AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials). (BERNUCCI et al., 2010, p. 404).

O Valor de Serventia Atual (VSA) é dado por uma atribuição numérica, definido na norma DNIT 009/2003-PRO, variando em uma escala de 0 a 5, atribuído por um grupo de avaliadores, em certo momento da vida do pavimento, para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em determinado trecho. Na Tabela 1 encontra-se os valores e conceitos de serventia atual, retirados da norma DNIT 009/2003-PRO.

Tabela 1 – Valor de Serventia Atual

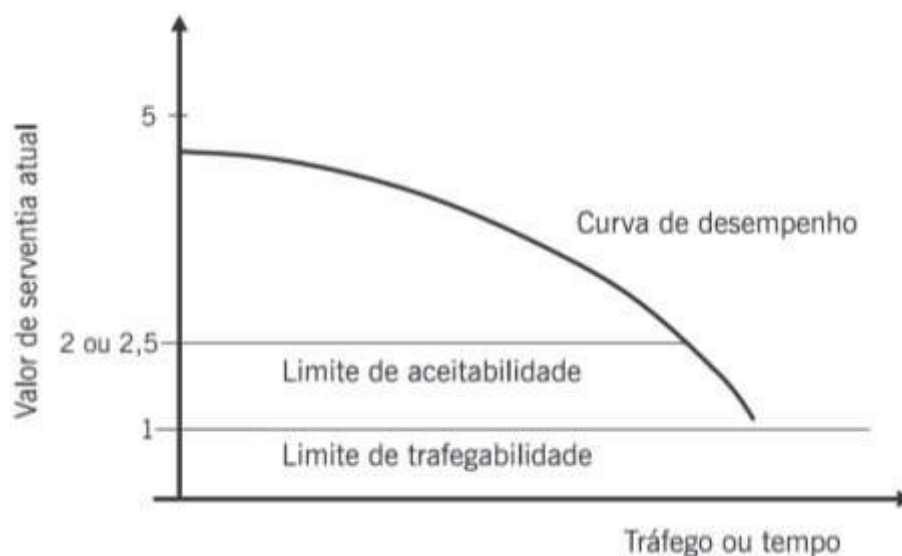
Conceito	Valor de Serventia Atual (VSA)
Ótimo	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Fonte: Adaptado de DNIT 009/2003-PRO.

Após a execução de um pavimento e ao ser submetido ao uso, o valor de VSA se modifica ao longo do tempo, a medida em que os veículos que passam no pavimento são “registrados” na estrutura, contribuindo para sua deterioração. Conforme Bernucci et al. (2010, p. 404), o “VSA do pavimento diminui com o passar do tempo por dois fatores principais: o tráfego e as intempéries.”

Considerando o pressuposto, encontra-se em bibliografias a curva de variação do VSA em relação ao tráfego ou tempo (Figura 5).

Figura 5 – Variação da serventia x Tráfego ou tempo



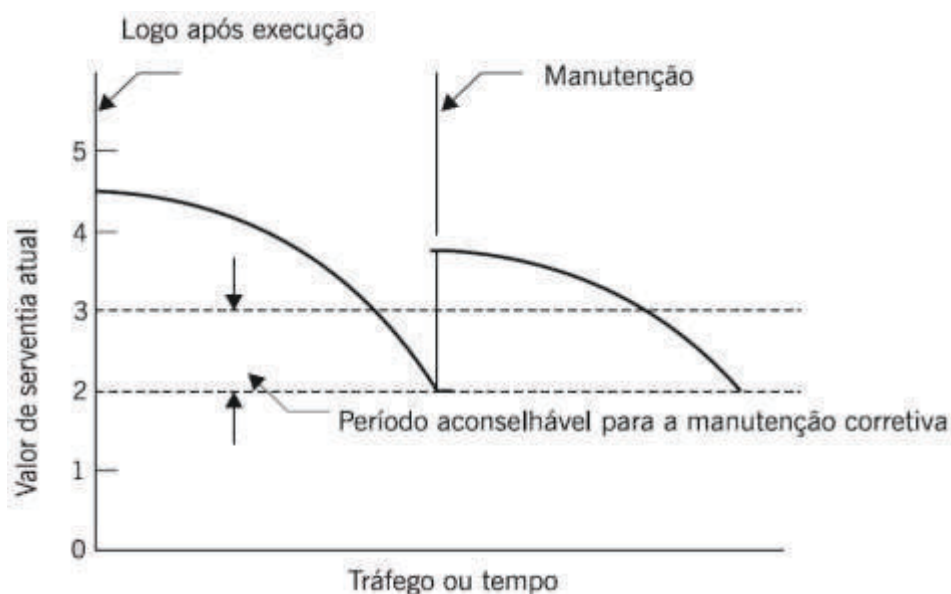
Fonte: Bernucci et al. (2010).

Na Figura 5 está representado os limites de aceitabilidade e de trafegabilidade. Segundo Bernucci et al. (2010, p. 406), “para os usuários, há um limite de aceitabilidade das condições de rolamento do pavimento, abaixo do qual o nível de conforto passa a ser inaceitável; este limite depende da categoria da rodovia e do tráfego.” Ainda, em relação aos critérios de serventia do pavimento, Bernucci et al. (2010) aborda que:

O guia de dimensionamento de pavimentos norte-americano da AASHTO (1993) introduziu pioneiramente o critério de serventia para o cálculo das estruturas de pavimento. Esse método atribui como limite da aceitabilidade a nota 2,5 para vias de alto volume de tráfego e 2,0 para as demais. Na prática, sempre que o valor de serventia atual atinge este patamar, uma intervenção de manutenção corretiva deve ser realizada de modo a repor o índice a um valor superior. No período em que o pavimento apresenta VSA acima deste valor, deve-se realizar manutenção preventiva periódica de modo a prolongar o tempo em que o mesmo permanece em condição aceitável quanto ao rolamento (BERNUCCI et al., 2010, p. 406).

Na Figura 6 consta a curva do período recomendável para manutenção dos pavimentos, que correlaciona os valores de serventia atual (VSA) com o tráfego ou tempo e demonstra o período necessário para manutenção da via desde sua execução.

Figura 6 – Período recomendável para a manutenção dos pavimentos



Fonte: Adaptado de Bernucci et al (2010).

2.2.1.2 Irregularidade Longitudinal

A 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)

As deformações constantes na superfície de um pavimento, resultantes das deficiências estruturais ou das degradações provocadas por diversos fatores intervenientes, resultam na irregularidade longitudinal do pavimento. Ao mensurar a irregularidade, contabiliza-se as diversas deformações presentes nele. (REZENDE, 2017)

Ainda, compreendendo a relação entre a deterioração do pavimento e seu nível de conforto ao usuário, Duarte (2018) afirma que:

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

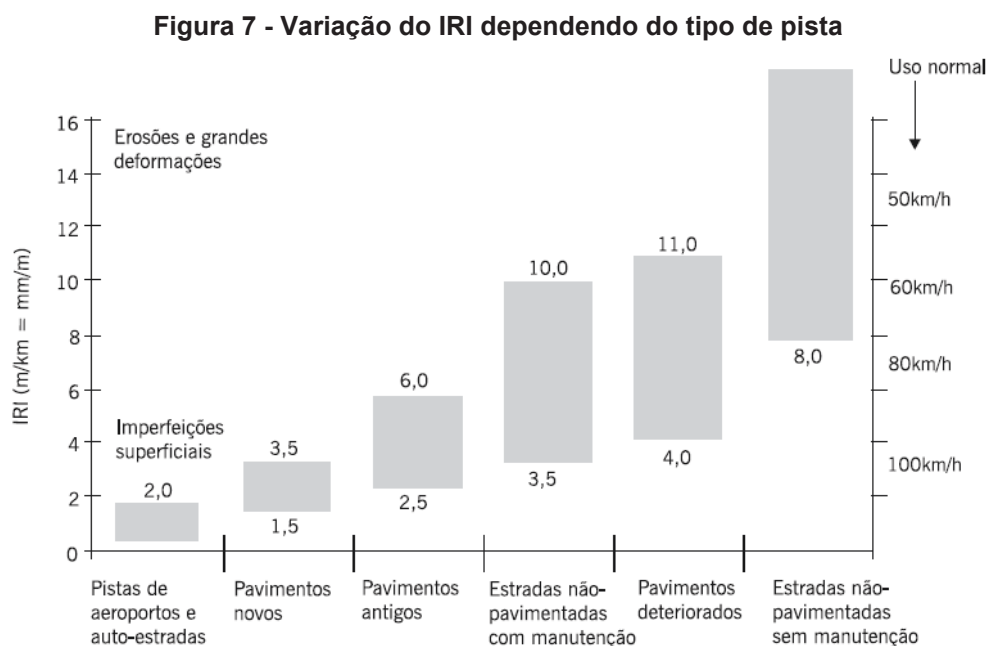
afetam a componente dinâmica das forças, contribuindo para o aumento da própria irregularidade. (DUARTE, 2018, p. 17).

Na avaliação dos pavimentos, a irregularidade é apontada como principal defeito, 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.” (DUARTE, 2018, p. 19).

A medição da irregularidade longitudinal, segundo Bernucci et al. (2010), é realizada da seguinte forma:

A irregularidade longitudinal (IRI) é medida ao longo de uma linha imaginária, paralela ao eixo da estrada e, em geral, coincidente com as regiões de trilhas de roda, podendo em alguns casos haver o interesse de melhor detalhar o perfil, levantando-o em diversas linhas paralelas imaginárias. A linha de levantamento longitudinal possui uma largura variável de alguns milímetros a centímetros e depende do tipo de equipamento empregado. (BERNUCCI et al., 2010, p. 407).

Os valores de IRI variam de acordo com a velocidade e conforme o tipo de pista avaliada, na Figura 7 pode-se observar essas variações.



Fonte: Bernucci et al (2010).

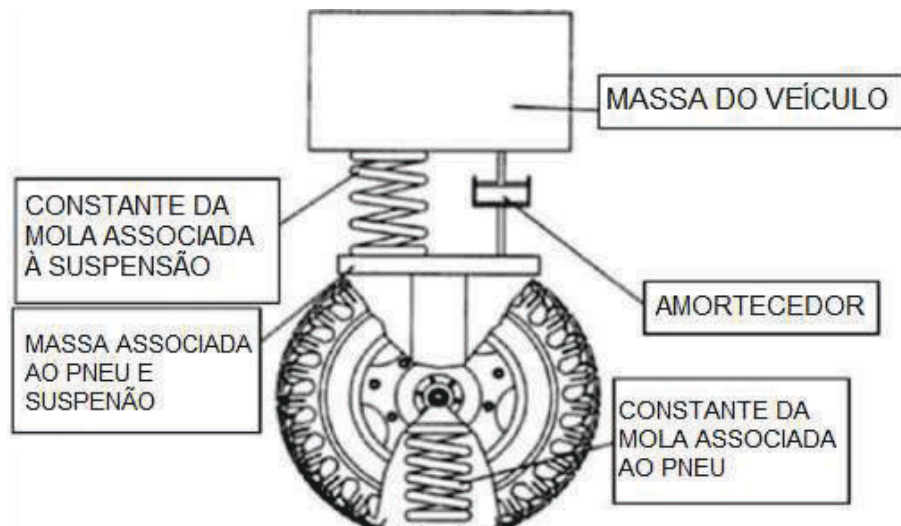
O cálculo do IRI é baseado no modelo demonstrado na Figura 8

Figura 8, conforme Duarte (2018):

O cálculo do IRI é baseado em um modelo matemático de um quarto de carro, tendo que o IRI 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. Os fatores que afetam o IRI são:

- veículo de medição, que pode ser minimizado pela calibração;
- velocidade, que também pode ser minimizada pela calibração;
- tipo de pavimento. (DUARTE, 2018, p. 20).

Figura 8 - Representação de quarto de carro



Fonte: Almeida (2018).

O levantamento da irregularidade longitudinal do pavimento, conforme Bernucci et al. (2010), pode ser realizado da seguinte forma:

A irregularidade pode ser levantada com medidas topográficas ou 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 o efeito da irregularidade nos veículos do que propriamente a irregularidade. Tem sido empregadas diversas classificações de equipamentos, dependendo do tipo e

princípio utilizado para o levantamento, tem-se empregado largamente a seguinte classificação:

- Avaliação direta: por meio de equipamentos de classe I (nível e mira; Dipstick, perfilômetro do TRL etc.) e classe II (perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser, APL francês etc.);
- Avaliação indireta: equipamentos de classe III do tipo-resposta (TRL Bump integrator, Maysmeter, Merlin etc.). (BERNUCCI et al., 2010, p. 408).

2.3 Utilização de smartphones na avaliação funcional dos pavimentos

A utilização de *smartphones* para avaliação funcional dos pavimentos proporciona facilidade e rapidez, além de diminuir a interferência humana nos levantamentos, se comparado a outros equipamentos de medição.

2.3.1 Conveniência e Acurácia

Segundo Duarte (2018 apud Bisconsini, 2016), ainda não há um equipamento capaz de medir a irregularidade com, simultaneamente, precisão e exatidão, alto rendimento e baixo custo, apesar dos diferentes equipamentos disponíveis para essa medição.

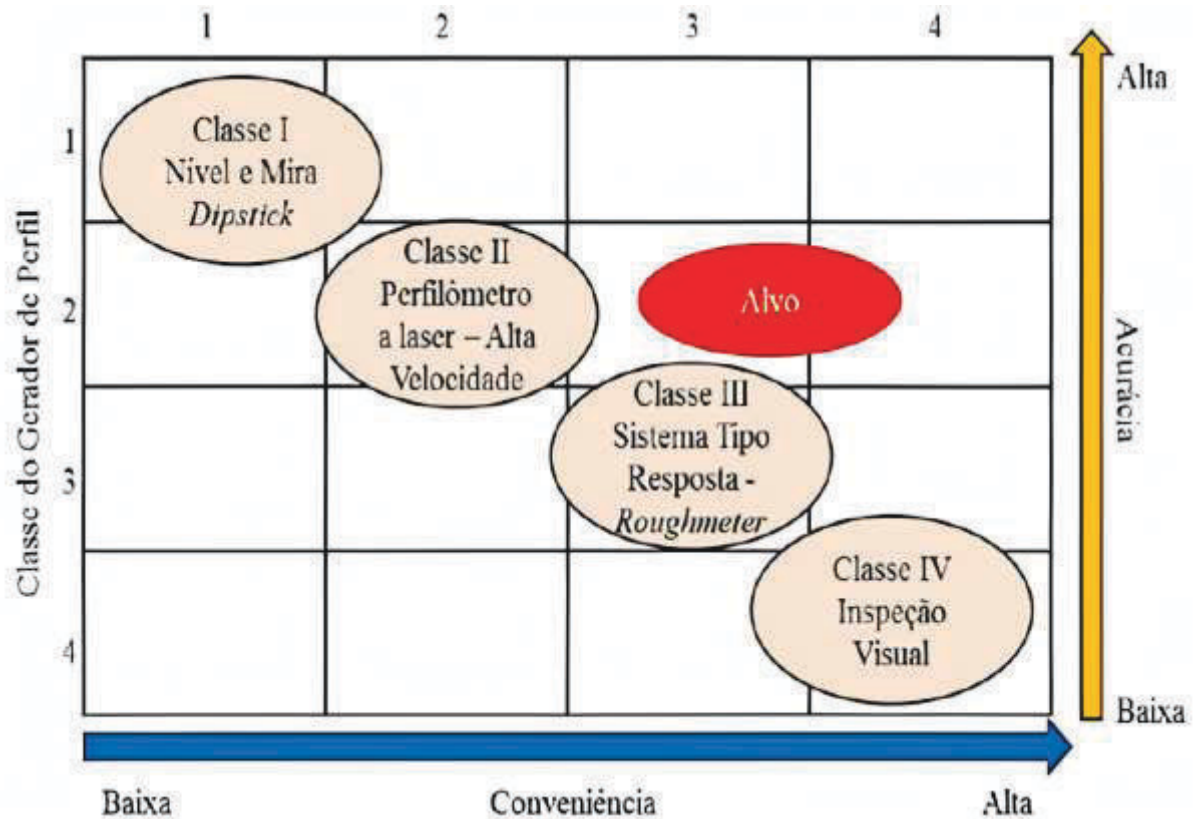
O uso de smartphones para medição de irregularidade longitudinal torna esse processo de baixo custo e fácil aplicação, porém é necessário levar em consideração a relação de precisão e acurácia que esses dispositivos apresentam na avaliação funcional dos pavimentos.

Os equipamentos para medição de irregularidade longitudinal são divididos em quatro classes, conforme mostra a Figura 9. Ainda, em relação a Figura 9, percebe-se há um “alvo”, demarcado em vermelho, que representa o uso dos smartphones para medição de irregularidade longitudinal, conforme segue:

Por necessitar de um processo de calibração por correlação, o sistema com smartphones pode ser classificado como pertencente à Classe III. O “alvo” se refere ao objetivo dos pesquisadores supracitados, ou seja, a obtenção de um sistema com maior acurácia e conveniência possível, mas ainda pertencente à Classe III. (ALMEIDA, 2018, p. 36).

Cada equipamento é classificado de acordo com o seu nível de acurácia e conveniência, como pode ser observado na Figura 9. Os equipamentos da Classe I são os que possuem maior nível de acurácia/precisão e menor nível de conveniência/exatidão, do contrário, os equipamentos da Classe IV possuem maior nível de conveniência e menor nível de acurácia.

Figura 9 - Classificação dos smartphones em relação aos outros equipamentos



Fonte: Almeida (2018).

O Sistema Tipo Resposta, classe à qual os smartphones pertencem, gera alguns erros aleatórios, os quais, são provenientes das limitações de acurácia dos medidores do tipo resposta, resultantes da variação da resposta de cada sistema à irregularidade longitudinal dos pavimentos devido às suas características dinâmicas individuais. (BISCONSINI, 2016)

No contexto geral, a resposta do veículo às irregularidades do pavimento irá depender da velocidade do veículo, das suas propriedades físicas e mecânicas e das irregularidades encontradas no pavimento. Devido a isso, a resposta de cada

veículo será diferente, para um mesmo pavimento, considerando que as características, anteriormente citadas, são alteradas.

Em relação ao uso dos medidores tipo resposta, Almeida (2018) comenta que:

Existe descrença em torno da aplicação de um medidor do tipo resposta, como no caso dos smartphones, principalmente quando comparado com os perfilômetros (classe I ou II). No entanto, os mesmos autores ressaltam que os smartphones podem fornecer atualizações sobre a condição funcional do pavimento, incluindo a irregularidade longitudinal em um curto espaço de tempo, em relação a outros métodos, que, devido ao custo, são utilizados com pouca frequência ou, mesmo, deixam de ser utilizados. (ALMEIDA, 2018, p. 37 apud FORSLOF (2013); BISCONSINI (2016).

Considerando o pressuposto, os equipamentos para avaliação de irregularidade longitudinal devem ser definidos de acordo com o nível de exatidão e precisão esperadas no levantamento. Ainda, o uso de diferentes equipamentos, de modo complementar, são fundamentais para que haja informações significativas para avaliação do desempenho dos pavimentos. (BISCONSINI, 2016)

2.3.2 Smartphones como alternativa na avaliação de irregularidade longitudinal dos pavimentos

O uso de *smartphones* como alternativa na avaliação de irregularidade longitudinal dos pavimentos é possível devido a serem equipados com funcionalidades avançadas, Bisconsini (2016) relata que:

Os avanços na tecnologia móvel levaram ao desenvolvimento dos *smartphones*, uma nova classe de aparelhos móveis com funcionalidades mais avançadas de conectividade, que rapidamente se tornaram uma presença constante em nossas vidas. Boa parte dos *smartphones* está equipado com capacidade de processamento relativamente avançado, como sistema de posicionamento global (GPS) e sensores de movimento (acelerômetro, magnetômetro e barômetro). (BISCONSINI, 2016, p. 22 apud DEL ROSARIO et al., 2015).

O uso de smartphones para avaliação de irregularidade longitudinal pode ser considerado do tipo resposta, pois conforme Bisconsini (2016):

apesar de não funcionar como um medidor convencional da classe, tendo em vista que não medem diretamente o perfil do pavimento como um perfilômetro e não acumulam aos deslocamentos entre a carroceria e o eixo traseiro do veículo em um único sentido, eles registram as acelerações verticais através dos smartphones e, esses sinais tem correlação com o IRI, que está altamente relacionado à avaliação funcional dos pavimentos. (BISCONSINI, 2016, p. 23).

Para avaliação de irregularidade longitudinal, através do aplicativo SmartIRI, apenas o acelerômetro e o receptor GPS são utilizados. O acelerômetro é capaz de “monitorar a variação da aceleração de um dispositivo ao longo dos três eixos. Esse sensor pode ser utilizado como uma medida inercial de velocidade e posição, inclinação ou orientação tendo como referência a aceleração da gravidade e vibração.” (ALMEIDA, 2018, p. 35). Na Figura 10, visualiza-se um esquema do sistema de coordenadas de um *smartphone*.

Figura 10 – Eixos que definem as componentes de aceleração de um smartphone



Fonte: Bisconsini (2016).

2.3.2.1 SmartIRI

O aplicativo SmartIRI, que será utilizado neste trabalho para avaliação da irregularidade longitudinal do pavimento, foi desenvolvido por Almeida (2018). Conforme o desenvolvedor:

O SmartIRI possuiu como ideia central em seu desenvolvimento 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 fornecidos pelo SmartIRI foram condizentes com outros métodos ou classes de equipamentos na maioria dos testes. (ALMEIDA, 2018, p. 48).

Para realização do levantamento, o *smartphone* deve ser fixado no para-brisa do veículo e a avaliação deve ser iniciada com o veículo em movimento quando a velocidade de 60 a 80 km/h é atingida, pois segundo Duarte (2018):

para velocidades 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. (DUARTE, 2018, p. 35 apud BISCONSINI, 2016).

Em relação a fixação do *smartphone* ao para-brisa, Bisconsini (2016) realizou um teste com fixadores do tipo para-brisa e tipo antiderrapante (fixado ao painel do veículo) e, concluiu que dependendo do tipo de fixador de para-brisa, há uma “flutuação” do *smartphone* devido ao material do fixador, por esse motivo escolheu o fixador tipo antiderrapante.

Ainda, “vale ressaltar que ainda não existem especificações técnicas, como modelo de veículos, suporte, aparelho, entre outras variáveis, que viabilizem a utilização de smartphones na avaliação funcional dos pavimentos”. (LIRA, 2020, p. 33)

Ao fixar o *smartphone* no veículo, pode ser iniciado o levantamento, no botão de Iniciar, como mostra a Figura 11. Ao clicar em iniciar, o aplicativo apresenta a opção do tipo de veículo utilizado no levantamento, se é SUV, 4WD ou veículo de Passeio, ao selecionar uma das opções e clicar em Ok, o levantamento é iniciado.

Figura 11 - Página inicial do aplicativo SmartIRI



Fonte: Almeida (2018).

Com a realização do levantamento, o aplicativo fornece os dados de irregularidade longitudinal do trecho a cada 100 metros. O relatório gerado pelo SmartIRI fornece os dados de IRI (m/km) e, de maneira visual, fornece o mapa do levantamento com uma escala de cores referente a cada classificação do IRI.

A Tabela 2 mostra os intervalos de IRI do qual o SmartIRI baseia-se para avaliação do pavimento e na Figura 12 um exemplo do mapa com os dados de IRI de maneira visual, com as cores conforme a classificação do IRI.

Tabela 2 - 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).

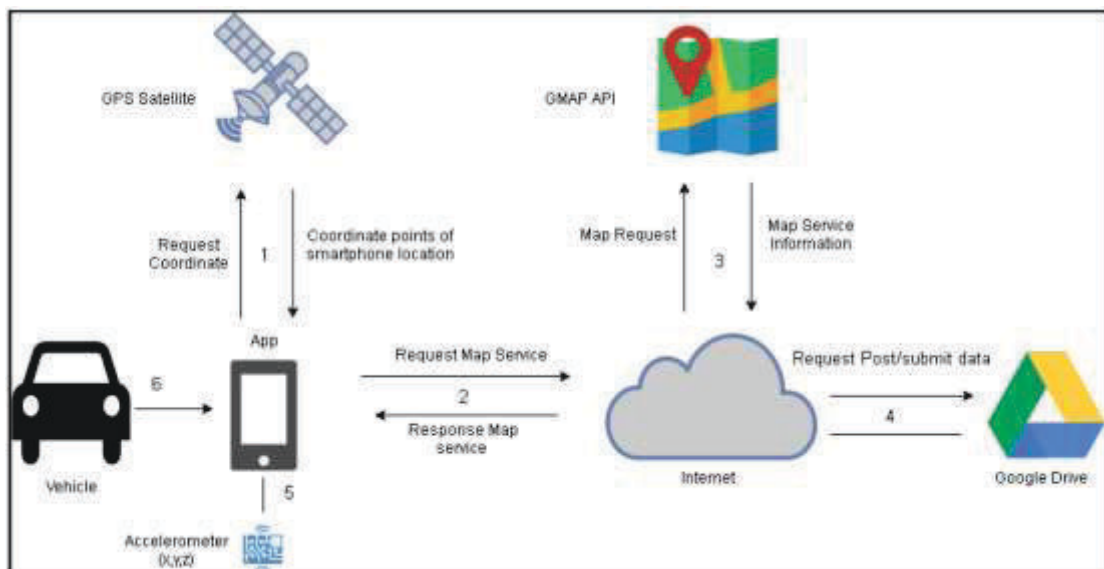
Figura 12 - Mapa gerado pelo SmartIRI



Fonte: Almeida (2018).

Para a coleta de dados de IRI através de *smartphones* o processo segue conforme demonstrado na Figura 13 abaixo.

Figura 13 - Funcionamento da coleta de dados através de smartphones



Fonte: Setiawan; Nurdin (2019).

As etapas da Figura 13 estão descritas abaixo, conforme Setiawan e Nurdin (2019):

1. O dispositivo Android pede as coordenadas do smartphone, o satélite GPS dá a posição de coordenadas do smartphone;
2. Os dispositivos Android entram na rede de internet;

3. Os dispositivos Android solicitam serviços de mapas, a API do Google Maps fornece mapas de serviços;
4. O dispositivo exporta dados para a mídia de armazenamento do Google Drive;
5. O aplicativo detecta vibrações que ocorrem enquanto o veículo está funcionando;
6. O dispositivo está em um veículo. (SETIAWAN; NURDIN, 2019, p. 4).

No caso do SmartIRI, os dados do levantamento são armazenados no site do aplicativo e nele consegue-se extrair os arquivos do levantamento em diferentes formatos, inclusive o mapa com a classificação visual.

2.4 Defeitos em Pavimentos Flexíveis

Comumente, ao circular por rodovias, visualiza-se uma série de defeitos/irregularidades em seu pavimento. Os defeitos podem ser classificados como:

Funcionais: os defeitos desta classe são relacionados com as qualidades de conforto e segurança no rolamento;
Estruturais: relacionados ao desempenho da estrutura do pavimento para suportar a carga de projeto. (BASÍLIO, 2002, p. 26 apud DOMINGUES, 1993).

Abaixo segue uma breve descrição dos defeitos dos pavimentos flexíveis e semirrígidos, retirada da norma DNIT 005/2003-TER.

2.4.1 Fenda

Fenda, de acordo com a norma DNIT 005-TER (2003a, p. 2), é “qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte [...]”. Ainda, a norma DNIT 005-TER distingue as fendas entre fissura e trinca.

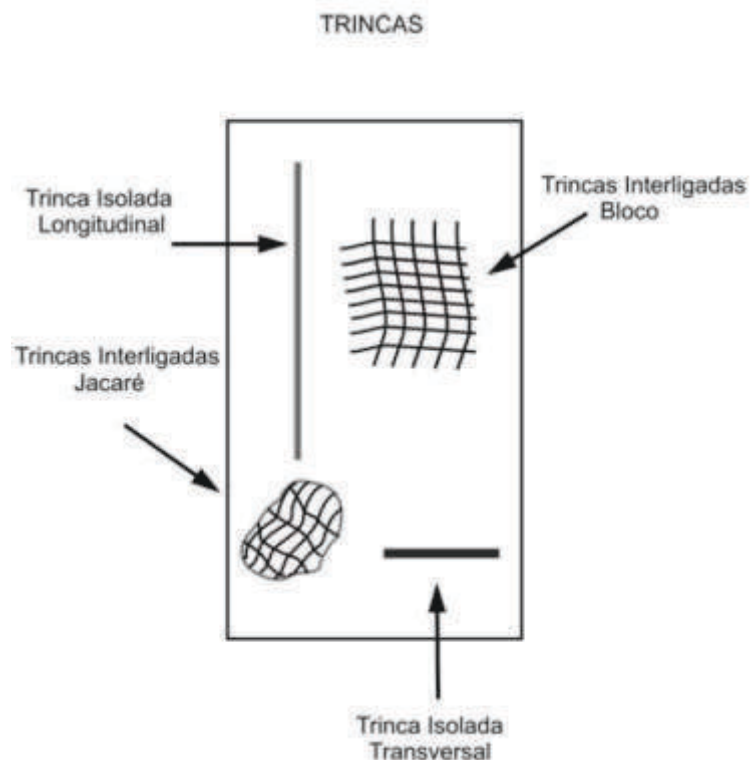
2.4.2 Fissura

“Fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível a vista desarmada de uma distância inferior a 1,5m.” (DNIT, 2003a, p.2).

2.4.3 Trincas

“Fenda existente no revestimento, facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada”. (DNIT, 2003a, p.2). Ainda, a norma DNIT 005/2003-TER divide as trincas em: Trinca Isolada Transversal; Trinca Isolada Longitudinal; Trinca interligada tipo “Couro de Jacaré” ou por fadiga e Trinca interligada tipo “Bloco”, conforme descrito nos itens abaixo e demonstrado na Figura 14.

Figura 14 - Representação esquemática de Trincas dos Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos



Fonte: DNIT (2003b).

2.4.4 Trinca Isolada Transversal

Trinca que “apresenta direção predominantemente ortogonal ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca transversal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca transversal longa.” (DNIT, 2003a, p. 2).

Na Figura 15 abaixo encontra-se a trinca isolada transversal no pavimento.

Figura 15 - Trinca Isolada Transversal



Fonte: DNIT (2003b).

2.4.5 Trinca Isolada Longitudinal

Trinca que “apresenta direção predominantemente paralela ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca longitudinal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca longitudinal longa.” (DNIT, 2003a, p. 2).

Na Figura 16 abaixo encontra-se a trinca isolada longitudinal no pavimento.

Figura 16 - Trinca Isolada Longitudinal



Fonte: DNIT (2003b).

2.4.6 Trinca interligada tipo “Couro de Jacaré” ou por fadiga

“Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas.” (DNIT, 2003a, p.2).

Na Figura 17 abaixo encontra-se a trinca interligada – tipo “couro de jacaré” ou por fadiga no pavimento.

Figura 17 - Trinca Interligada – Tipo Couro de Jacaré ou por Fadiga



Fonte: DNIT (2003b).

2.4.7 Trinca interligada tipo “Bloco”

“Conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas.” (DNIT, 2003a, p. 2).

Na Figura 18 abaixo encontra-se a trinca interligada tipo bloco no pavimento.

Figura 18 - Trinca Interligada – Tipo Bloco



Fonte: DNIT (2003b).

2.4.8 Afundamento ou Deformação Permanente

“Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação.” (DNIT, 2003a, p. 2).

Na Figura 19 abaixo encontra-se o afundamento / deformação permanente no pavimento.

Figura 19 - Afundamento ou Deformação Permanente



Fonte: DNIT (2003b).

2.4.9 Afundamento Plástico

Conforme a norma DNIT 005/2003-TER, a definição de afundamento plástico é:

Afundamento causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico local; quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda (DNIT, 2003a, p. 3).

2.4.10 Afundamento de consolidação

Conforme a norma DNIT 005/2003-TER, a definição do afundamento de consolidação é:

Afundamento de consolidação é causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento de consolidação local; quando a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda (DNIT, 2003a, p. 3).

2.4.11 Desgaste

“Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.” (DNIT, 2003a, p. 3). Na Figura 20 abaixo visualiza-se o desgaste no pavimento.

Figura 20 - Desgaste do pavimento

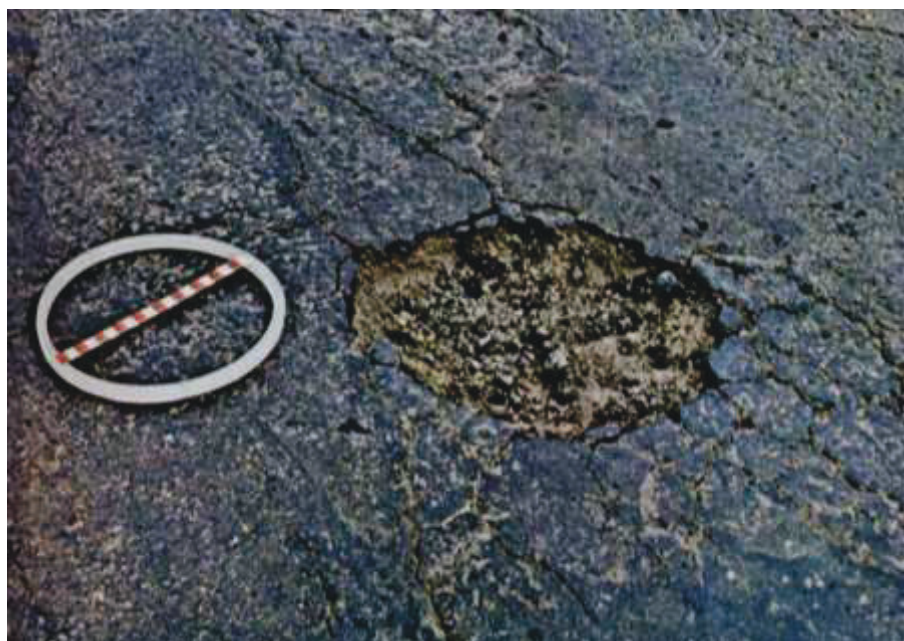


Fonte: DNIT (2003b).

2.4.12 Buracos ou Panelas

Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas [...], podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.” (DNIT, 2003a, p. 3). Na Figura 21 abaixo encontra-se a panela / buraco no pavimento.

Figura 21 – Painela / Buraco



Fonte: DNIT (2003b).

2.4.13 Remendo

“Painela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco”.” (DNIT, 2003a, p. 3).

2.4.14 Remendo profundo

“Aquele em que há substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento. Usualmente, apresenta forma retangular.” (DNIT, 2003a, p. 3).

2.4.15 Remendo superficial

“Correção, em área localizada, da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada betuminosa.” (DNIT, 2003a, p. 3).

2.4.16 Ondulação ou Corrugação

“Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento.” (DNIT, 2003a, p. 3). Na Figura 22 abaixo visualiza-se ondulações no pavimento.

Figura 22 - Ondulação no pavimento



Fonte: DNIT (2003b).

2.4.17 Escorregamento

“Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.” (DNIT, 2003a, p. 3). Na Figura 23 abaixo visualiza-se o escorregamento do pavimento.

Figura 23 - Escorregamento do pavimento



Fonte: DNIT (2003b).

2.4.18 Exsudação

“Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento.” (DNIT, 2003a, p. 3). Na Figura 24 abaixo visualiza-se a exsudação no pavimento.

Figura 24 - Exsudação do pavimento



Fonte: DNIT (2003b).

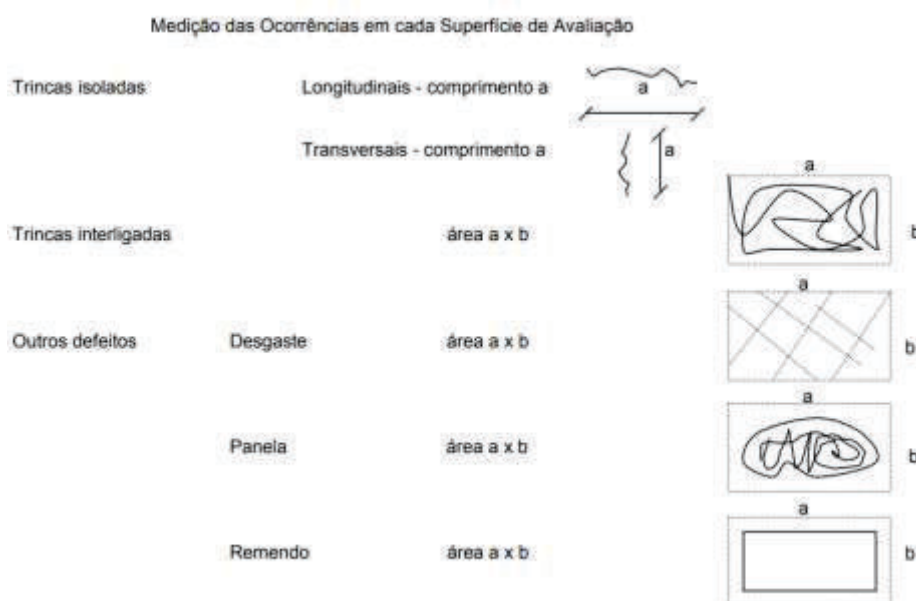
2.4.19 Procedimento de avaliação dos defeitos de pavimentos flexíveis e semi-rígidos

A norma DNIT 007/2013 – PRO define os procedimentos a serem executados para avaliar os defeitos de superfície dos pavimentos, descreve o método e aparelhagem a ser utilizada para medir os defeitos.

Considerando que nessa pesquisa buscou-se acompanhar a evolução dos defeitos de superfície de pavimento, foi necessário realizar as medições de acordo com o estabelecida na norma.

A norma DNIT 007/2013 estabelece o método para realizar o levantamento de cada tipo de defeito da superfície do pavimento, conforme a Figura 25. As medições dos defeitos dessa pesquisa foram realizadas conforme a imagem abaixo.

Figura 25 - Medição dos defeitos de superfície do pavimento



Fonte: DNIT (2003b).

3 TRABALHOS SIMILARES

O uso de *smartphones* como alternativa para medição de irregularidade longitudinal está sendo muito difundido, pois é um método de fácil operação e baixo valor aquisitivo para avaliação funcional dos pavimentos. Nesse tópico, apresenta-se os estudos relacionados ao tema desse trabalho, como forma de compreender a importância e abrangência desse tema.

Lixinski (2017) avaliou o desempenho de um pavimento ao longo do tempo, estudando dados de Irregularidade Longitudinal e Afundamentos nas Trilhas de Roda – ATR, obtidos entre os anos de 2012 a 2015, através de perfilômetro a laser. Apesar desse estudo não ter sido realizado com *smartphone*, auxilia na compreensão dessa pesquisa, pois foi gerada uma linha de tendência de desempenho do pavimento, sendo possível compreender o seu comportamento ao longo do tempo, como pretende-se nesse trabalho.

Duarte (2018) em sua pesquisa utilizou o aplicativo *SmartIRI* para realizar levantamento de irregularidade longitudinal em 6 faixas de tráfego, numa extensão total de 4,1 km da Rodovia CE-401. Com esse estudo, ele conseguiu realizar uma análise comparativa da qualidade funcional dessas 6 faixas de tráfego, justificando de maneira fotográfica alguns possíveis fatores que geraram alterações nos valores do IRI e que provocam desconforto ao usuário ao trafegar pelos trechos. Com o trabalho, concluiu que apesar das variações encontradas nos dados, o *SmartIRI* se torna viável para realizar o levantamento de irregularidade longitudinal.

Oliveira (2018) realizou estudos em trechos com diferentes níveis de irregularidade, obtendo dados de aceleração vertical, através de um *smartphone* fixado em um suporte tipo para-brisa, ao trafegar com diferentes velocidades. Após realizar o levantamento dos dados, esses sinais de aceleração vertical foram transformados em índices de Root Mean Square (RMS) para depois ser transformado em dados de irregularidade longitudinal (IRI) e comparar com dados de IRI já existentes do trecho – medidos através do equipamento Nível e Mira, a fim de compreender o nível de confiabilidade dos dados obtidos por *smartphone*.

Através do seu estudo, Oliveira (2018) obteve dados favoráveis em relação ao uso de *smartphones* para levantamento de irregularidade longitudinal dos pavimentos. Em seu estudo, o autor chegou a valores de coeficientes de correlação de Pearson de 0,86 e valores de repetitividade admissível com coeficientes de variação entre 2,7 e 7,9%, o que demonstra a eficiência do uso de *smartphones* para avaliação do desempenho funcional de pavimentos.

Yeganeh et al. (2019) analisou a correlação entre o nível de rugosidade do pavimento medida por *smartphone* e a opinião de conforto para os usuários (avaliação subjetiva) ao trafegar pelo mesmo trecho, a fim de analisar se o *smartphone* retrata a

real sensação de conforto do usuário. Para realizar o levantamento foi necessário o uso de um *smartphone* que detectou os valores de aceleração vertical e também grupos de 3 avaliadores, os quais realizavam a avaliação subjetiva do pavimento. Ainda, foi realizada a análise do pavimento considerando o PDI (*Pavement Distress Index* – Índice de deterioração do pavimento), que define “pesos” para cada tipo de defeito do pavimento, resultando em um valor final de condição do pavimento.

Com o estudo, Yeganeh et al. (2019), correlacionou três índices, um deles coletado por *smartphone*, outro proveniente de avaliação subjetiva e outro por avaliação objetiva. Os autores concluíram que a rugosidade do pavimento (definida por *smartphone*) tem uma boa correlação com a avaliação subjetiva dos avaliadores e não apresenta boa correlação com a avaliação objetiva – índice obtido através dos defeitos do pavimento (PDI).

Bisconsini et al. (2019) buscou compreender a variação dos dados coletados por *smartphones* e o IRI, variando alguns fatores no levantamento. Para realizar essa pesquisa, criou-se 4 cenários de coletas: utilizando três modelos de smartphones, utilizando três modelos de veículos, utilizando três tipos de fixadores e, por fim, considerado duas velocidades. Com esse estudo, chegou-se à conclusão de que os dados coletados com suporte para *smartphone* do tipo para-brisa (PA) recebem menos influência de ruído, porém foi desconsiderado o suporte PA que apresentasse vibrações ressonantes excessivas.

Ainda, Bisconsini et al. (2019), verificou que os dados coletados com a velocidade de 40 km/h apresentavam menor influência de ruídos, se comparados aos dados coletados a 60 km/h, devido ao fato de o motor apresentar menor vibração a 40 km/h. Com isso, pode-se analisar a repetibilidade dos valores de IRI e chegar à conclusão de que os *smartphones* podem ser utilizados de maneira eficaz no levantamento de irregularidade longitudinal do pavimento.

Chaves et al. (2020) utilizaram os aplicativos SmartIRI e RoadLab para avaliação de irregularidade longitudinal de um trecho da rodovia federal BR-122, no município de Quixadá/CE. Com o levantamento realizado, encontrou-se divergências entre alguns valores, ao comparar os dados obtidos com os dois aplicativos. Além do levantamento, foi realizado uma análise fotográfica dos defeitos do pavimento que podem ter influenciado na majoração do IRI. Com o estudo, concluíram que os

aplicativos para *smartphone* facilitam o levantamento e fornecem dados confiáveis, auxiliando na tomada de decisão dos órgãos gestores.

Gurjão et al. (2020) verificou o desempenho funcional de um pavimento utilizando o aplicativo SmartIRI. Essa pesquisa foi realizada entre os meses de julho de 2019 a fevereiro de 2020, com as medições feitas uma vez em cada mês, em 4 faixas de trânsito da Rodovia Estadual CE-085. Com a análise dos dados, de forma geral, notou-se que em duas faixas os valores foram mais homogêneos, se comparado aos valores das outras 2 faixas.

Com a pesquisa, Gurjão et al. (2020) encontrou algumas discordâncias nos valores, que pode ser explicado pela falta de calibração do equipamento e por falhas no ajuste e fixação do suporte tipo para-brisa. Por fim, concluiu-se no estudo que a utilização dos smartphones para análise mensal dos dados de IRI torna-se uma opção viável, devido ao baixo custo e rápida operação.

Ferrari (2021) analisou a irregularidade longitudinal de 6 vias localizadas nas cidades de Alegrete e Santa Maria. No seu estudo, a autora percorreu 10 vezes cada trecho, utilizando em cada levantamento o perfilômetro inercial a laser e dois *smartphones* com os aplicativos SensorLab e SmartIRI, utilizando dois veículos diferentes (S10 e Civic), para assim obter uma média dos valores de IRI e RMSVA de cada trecho.

Ferrari (2021) através da sua pesquisa, constatou que para o veículo Civic os dados de IRI demonstram que o pavimento está em uma condição melhor, se comparado aos dados do veículo S10, isso se deve pelo fato da suspensão do veículo Civic “amortecer” mais o impacto dos defeitos do pavimento. Ainda, os dados de IRI encontrados apresentaram variação entre os equipamentos, porém chegou-se a uma mesma classificação de desempenho funcional em todos levantamentos.

Ainda, Ferrari (2021) considerou, entre os métodos de avaliação utilizados, o uso de aplicativos no *smartphone* trabalhoso, com maiores cuidados por parte do operador e mais suscetível a influência externa sobre os dados, se comparado ao uso do perfilômetro inercial a laser.

Diversos trabalhos já foram realizados utilizando aplicativos para *smartphone* para a medição de irregularidade longitudinal do pavimento, mas na pesquisa realizada de trabalhos semelhantes, não foi encontrado trabalhos na mesma

linha desta pesquisa, com acompanhamento dos defeitos juntamente com a verificação das alterações na irregularidade longitudinal do pavimento.

4 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O trabalho desenvolvido tem por objetivo analisar as alterações nos parâmetros de irregularidade longitudinal (IRI) em um trecho, de aproximadamente 500m, da rodovia ERS-344, monitorando os defeitos encontrados ao longo da superfície do pavimento, buscando compreender as variações nos valores de IRI.

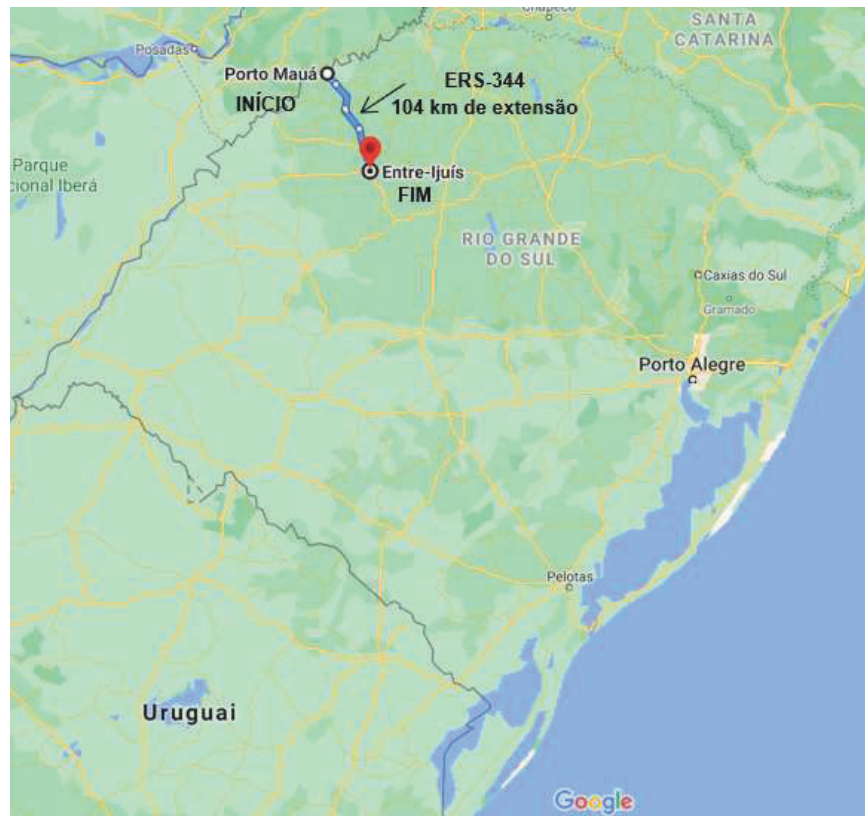
Para isso, utilizou-se o aplicativo para *smartphone* SmartIRI e, em conjunto, fez-se registros da evolução dos defeitos de superfície do pavimento encontrados no trecho.

4.1 Rodovia de estudo

A rodovia ERS-344, nomeada Rodovia Sepé Tiarajú pela lei nº 12.504 de 23 de maio de 2006, está localizada na Mesorregião Noroeste, estado do Rio Grande do Sul. (RIO GRANDE DO SUL, 2006)

A rodovia tem seu início na cidade de Porto Mauá e seu fim na cidade de Entre-Ijuís, no entroncamento com a BR-285, contemplando uma extensão de aproximadamente 104 quilômetros, conforme consta na Figura 26 abaixo. (RIO GRANDE DO SUL, 2006)

Figura 26 - Localização da rodovia ERS-344 no Estado do Rio Grande do Sul

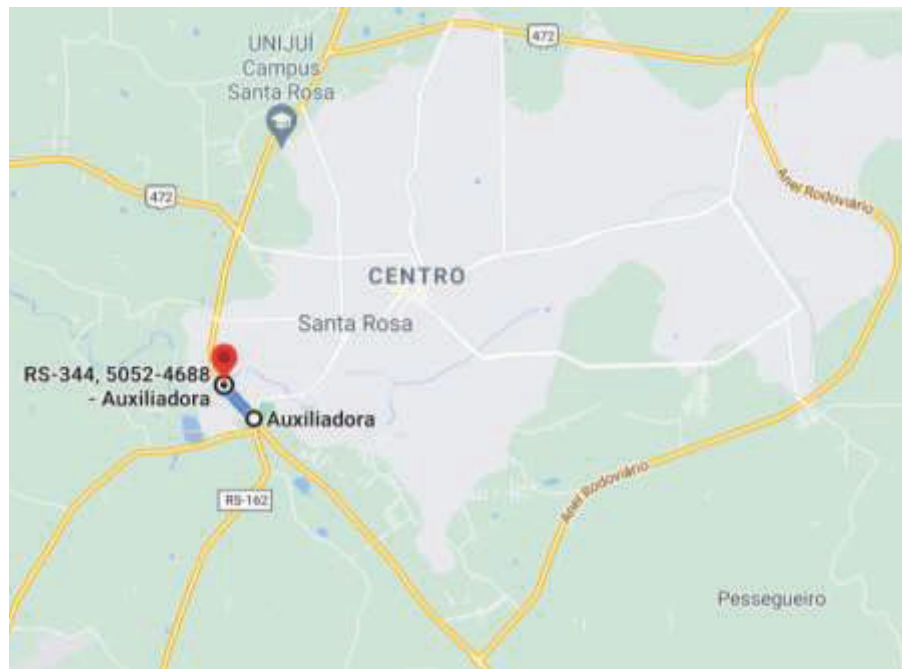


Fonte: Google Maps (2022).

4.1.1 Trecho de estudo

O trecho estudado da rodovia ERS-344 encontra-se na cidade de Santa Rosa/RS e possui 500 m de extensão (Figura 27).

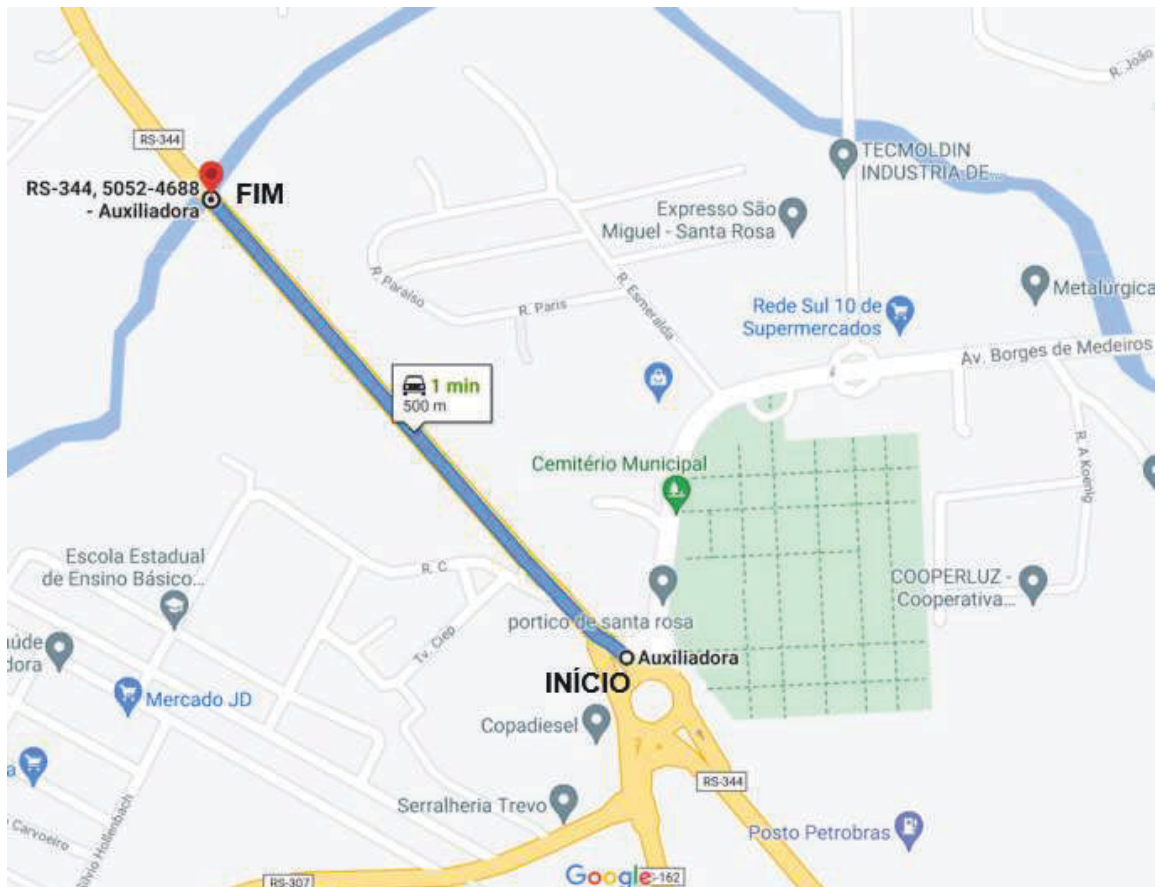
Figura 27 - Trecho adotado (aproximadamente 500 m - ida)



Fonte: Google Maps – adaptado pelo autor (2022).

O trecho escolhido, de aproximadamente 500 m, inicia na rotatória do pórtico de Santa Rosa/RS, próximo ao cemitério municipal, e tem seu fim no início da ponte que passa sobre o Rio Pessegueiro, como pode ser visto na Figura 28.

Figura 28 - Detalhe do trecho escolhido



Fonte: Google Maps – adaptado pelo autor (2022).

Esse trecho foi escolhido para o levantamento pois consegue-se definir um ponto de início e fim com uma certa exatidão para o levantamento da irregularidade longitudinal com o aplicativo SmartIRI, considerando que o início do trecho é na rotatória e o fim é onde inicia a ponte. Na Figura 29 e Figura 30 abaixo visualiza-se o trecho em questão.

Figura 29 - Localização do trecho de estudo



Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 30 - Trecho de Estudo



Fonte: Elaboração própria (2022).

Este trecho recebe uma movimentação intensa de veículos diariamente, o que pode ser observado no local, pois faz ligação entre diferentes cidades e indústrias que estão localizadas próximas a rodovia.

Segundo dados do DAER, de janeiro de 2013, o trecho de estudo apresenta um VDM (Volume Médio Diário) de 1307 veículos por dia. (DAER, 2013). Segundo o dado de VDM, esse trecho enquadra-se na Classe II, com fluxo elevado de veículo, classificando-se como via Arterial, cuja principal função é propiciar mobilidade. (DNER, 1999)

O grande fluxo de veículos neste trecho impacta negativamente na qualidade do pavimento, considerando que veículos de carga trafegam constantemente nesse trecho.

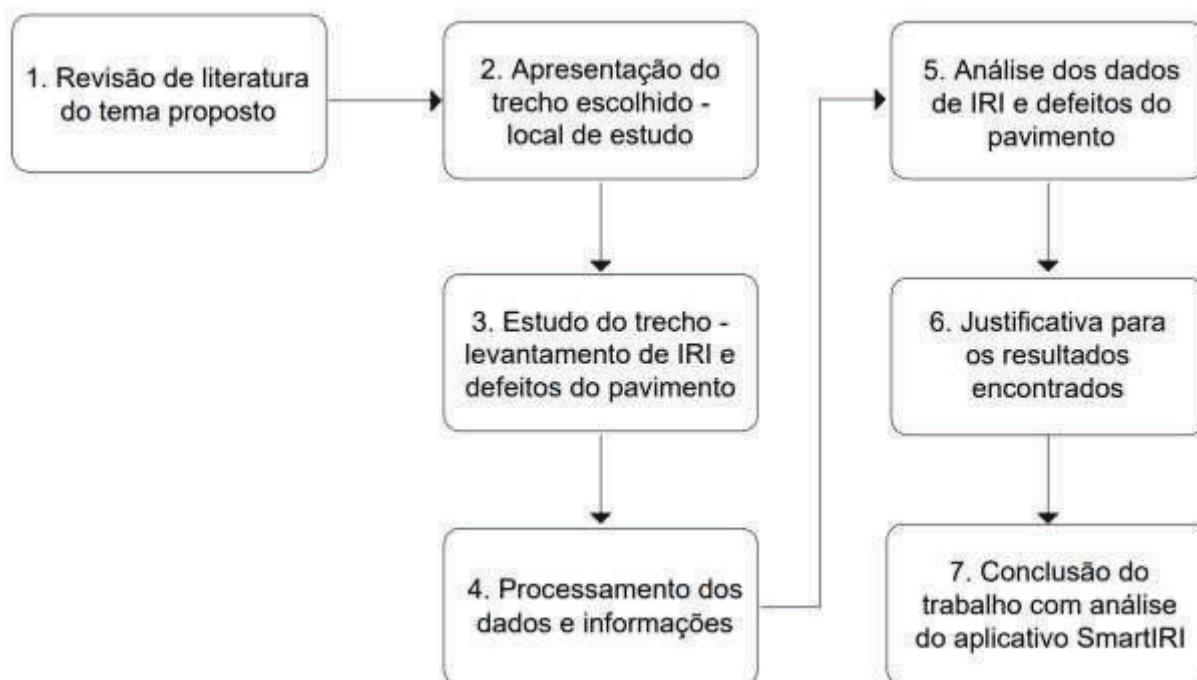
5 MÉTODO DA PESQUISA

A metodologia utilizada nessa pesquisa foi através da análise dos dados levantados em campo, tanto da irregularidade longitudinal do pavimento quanto dos defeitos existentes no trecho, com o objetivo de compreender as alterações desses dados ao longo do tempo.

A abordagem dessa pesquisa tem aspectos exploratórios e descritivos. Segundo Gil (2002, p. 41) as pesquisas exploratórias proporcionam “maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições.” Ainda, a pesquisa tem aspectos descritivos devido a realizar análises e interpretações dos dados coletados.

Considerando o objetivo geral desse trabalho acadêmico, que é analisar as alterações nos parâmetros de irregularidade longitudinal de um trecho da rodovia ERS-344, obtidos através de aplicativo para *smartphone*, foi realizado um fluxograma, apresentado na Figura 31, com as etapas a serem seguidas para o cumprimento desse objetivo.

Figura 31 - Fluxograma do método de pesquisa



Fonte: Elaboração própria (2022).

Abaixo segue descrito as etapas do método da pesquisa, conforme fluxograma da Figura 31.

1. Após a definição da linha de pesquisa desse trabalho acadêmico, foi necessária uma revisão literária sobre os temas que englobam esse trabalho. Dentre eles estão: tipos de pavimento, suas respectivas estruturas e funcionamento mecânico; irregularidade longitudinal, serventia do pavimento, uso de *smartphones* para avaliação funcional do pavimento e defeitos dos pavimentos semirrígidos e flexíveis.
2. Após a revisão literária, definiu-se o trecho de estudo, apresentando informações da rodovia e delimitando o local a ser estudado.
3. Definindo o trecho a ser estudado, inicia-se os levantamentos necessários para a pesquisa:
 - a. Levantamento de irregularidade longitudinal (IRI): o levantamento foi realizado com *smartphone* contendo o aplicativo SmartIRI, fixado no painel de um veículo Palio Attractive, através de um fixador autocolante.

- b. Levantamento dos defeitos do pavimento: realizado com medições com trena métrica, apontando cada defeito encontrado na via em uma prancheta, ao longo do trecho.
4. Realizado os levantamentos (IRI e defeitos), a próxima etapa foi processar os dados extraídos no trecho.
 - a. Levantamento de irregularidade longitudinal (IRI): os dados do levantamento de IRI foram extraídos do site SmartIRI, sendo necessário organização dos dados para apresentação na pesquisa.
 - b. Levantamento dos defeitos do pavimento: as medições dos defeitos foram organizadas em uma planilha Excel, conforme anotações realizadas no trecho.
5. Após o processamento dos dados, iniciou-se a análise e compreensão dos resultados encontrados. A análise foi realizada verificando a alteração dos dados de IRI para cada segmento de 100 m do levantamento, verificando se houve evolução da extensão dos defeitos e se essa evolução pode ser percebida nos dados de IRI.
6. Após apresentar os resultados encontrados e realizar análises, justificou-se os valores encontrados, buscando fundamentar possíveis incompatibilidades encontradas.
7. Para finalizar a pesquisa, analisou-se a aplicabilidade do aplicativo SmartIRI para o acompanhamento da irregularidade longitudinal do pavimento ao longo do tempo.

Após a definição do método de pesquisa pode-se iniciar o levantamento dos dados, mas antes foi necessário preparar a instrumentação da pesquisa, conforme segue descrito abaixo.

5.1 Infraestrutura Necessária

A infraestrutura utilizada na realização dessa pesquisa foi com recursos próprios da acadêmica, não dependendo de recursos financeiros, materiais e/ou equipamentos do Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC. Abaixo segue a descrição dos equipamentos utilizados nessa pesquisa.

- *Smartphone* com o aplicativo SmartIRI instalado:

Necessário para realização do levantamento de irregularidade longitudinal do trecho. Para este trabalho foi utilizado o smartphone Moto One, da empresa Motorola, fixado no painel do veículo (Figura 32).

Figura 32 - Smartphone fixado no veículo



Fonte: Elaboração Própria (2022).

O aplicativo SmartIRI tem seu acesso pago, mas no caso desse estudo o aplicativo teve seu acesso disponibilizado pelo desenvolvedor por ser para fins acadêmicos.

- Veículo de passeio:

Necessário para realizar o levantamento de irregularidade longitudinal, o veículo de passeio utilizado foi o Palio Attractive, da Fiat, ocupado por duas pessoas durante o levantamento.

É importante destacar o uso do mesmo veículo para os levantamentos, uma vez que a suspensão de cada veículo varia e, por isso, absorve de maneira diferente os movimentos verticais durante o trecho. Ferrari (2021), em seu estudo, utilizou dois veículos, com suspensão diferentes, e constatou que os dados podem ter sido

variáveis para cada veículo por conta da diferente absorção dos movimentos verticais de cada um.

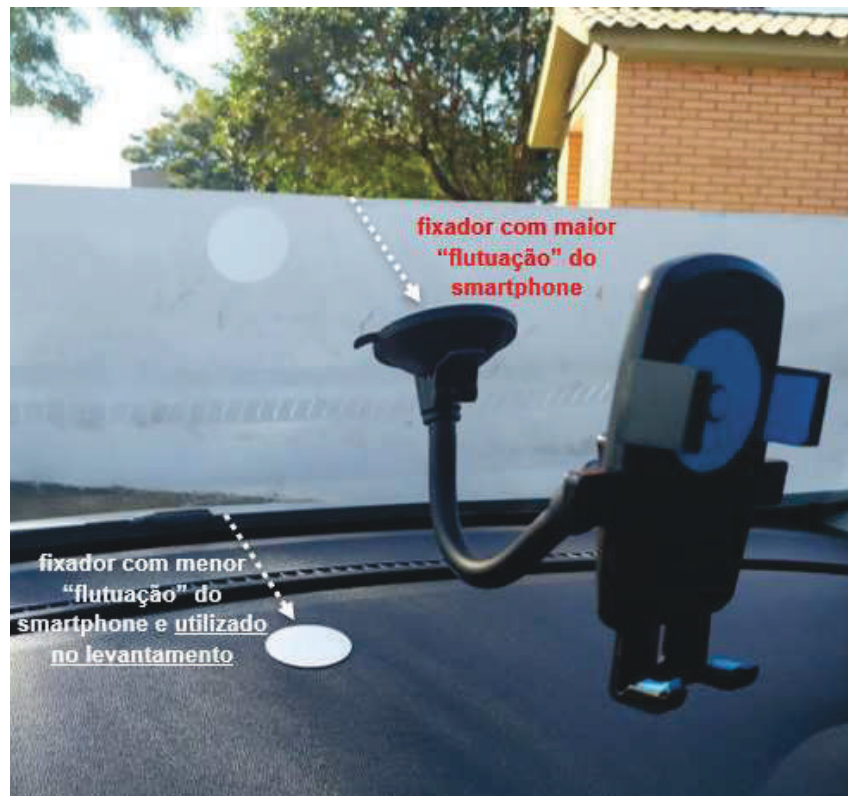
- Aparelho de fixação do *smartphone*:

Necessário para fixação do *smartphone* ao painel do veículo. Nesta pesquisa, antes de iniciar o levantamento, fez-se uso de dois dispositivos de fixação, para verificação visual da trepidação do aparelho, a qual impactaria nos dados do levantamento.

Para o teste, foi inserido um *smartphone* em cada fixador e percorreu-se o trecho, para verificar o comportamento dos *smartphones*. Na Figura 33 abaixo, visualiza-se os dois fixadores, um fixado ao painel do veículo (mais rígido e com menor “flutuação” do *smartphone* – lado esquerdo da Figura 33) e outro fixado ao para-brisa do veículo (menos rígido e com maior “flutuação” do *smartphone* – lado direito da Figura 33).

Para o levantamento dos dados foi utilizado o fixador do painel, um adesivo, que colado ao *smartphone* permite que ele fique fixado ao painel sem flutuação visível.

Figura 33 - Fixadores de *smartphones* testados no levantamento



Fonte: Elaboração própria (2022).

O tipo de fixador do *smartphone* pode trazer alterações nos dados de IRI, uma vez que o movimento vertical causado pelos defeitos do trecho pode ser influenciado pela “flutuação” do fixador.

Bisconsini (2016) em seu estudo, utilizou um fixador tipo adesivo/ “tapete mágico”, pois ao trafegar pela via percebeu que o fixador do tipo para-brisa apresentava vibrações ressoantes excessivas e, por isso, influenciaria nos dados de IRI.

- Tinta spray e giz:

Necessários para demarcação do acostamento a cada 100 metros, conforme levantamento realizado pelo SmartIRI (medições do IRI em segmentos de 100 metros). Logo, o ponto 0 (zero) foi demarcado onde o levantamento do IRI foi iniciado e a partir deste ponto fez-se a demarcação a cada 100 m. A Figura 34 abaixo demonstra a marcação realizada.

Figura 34 - Demarcação do trecho de estudo



Fonte: Elaboração própria (2022).

- Câmera fotográfica – utilizada do *smartphone*:

Necessária para o registro dos defeitos encontrados no trecho. Através da análise do trecho, observa-se que alguns defeitos possuem grande extensão e aos registrá-los com a câmera fotográfica, sua análise fica comprometida pois nem toda sua extensão é registrada, então foi necessário realizar a medição da extensão do defeito.

O registro fotográfico dos defeitos foi necessário, pois durante o intervalo dos levantamentos poderia acontecer alguma modificação significativa do defeito e, dessa forma, tem-se registrado essa alteração para análise junto a variação nos

valores de IRI. O registro dos defeitos, encontrados ao longo do trecho, encontram-se no Anexo I.

- Trena métrica:

Necessária para medição dos defeitos do pavimento e, para o primeiro levantamento, foi utilizada para medir os trechos de 100 metros. Considerando que apenas com o registro fotográfico não se consegue acompanhar a evolução dos defeitos no pavimento, será necessário também a utilização de uma trena métrica de 50 metros para medir a extensão dos defeitos de superfície do pavimento.

5.1.1 Veículo utilizado

O veículo utilizado, como citado anteriormente, foi um veículo da marca Fiat, modelo Palio Attractive, ano 2012. Para o levantamento, a fim de evitar que a calibração dos pneus e o peso do mesmo acrescentasse erros aleatórios sobre os dados coletados, todos os pneus foram calibrados com 35 psi, sempre no mesmo posto de abastecimento e a rota até o ponto de início do trecho de estudo manteve-se inalterada em todos levantamentos. Além disso, para o levantamento do IRI, o veículo foi ocupado por duas pessoas – motorista e passageiro.

5.2 Levantamento dos dados

O levantamento de dados foi realizado em finais de semana, mais especificamente no domingo, visto que o fluxo de veículos é menor e aumenta a segurança na realização do levantamento. Ainda, vale ressaltar que os levantamentos foram realizados em intervalos de aproximadamente 30 dias, conforme visualiza-se na Tabela 3.

O intervalo de aproximadamente 30 dias foi definido pensando em ter-se ao final do estudo uma precisão e um detalhamento maior de dados para análise e acompanhar, desta forma, as alterações em cada segmento do pavimento ao longo dos meses.

Tabela 3 - Cronograma dos levantamentos de IRI e defeitos do pavimento

Data	Levantamentos
22/08/2021	1º Levantamento
26/09/2021	2º Levantamento
31/10/2021	3º Levantamento
28/11/2021	4º Levantamento
26/12/2021	5º Levantamento
23/01/2022	6º Levantamento
20/02/2022	7º Levantamento

Fonte: Elaboração própria (2022).

Inicialmente foi realizado o levantamento da irregularidade longitudinal, considerando que o veículo estava com os pneus calibrados e realizava sempre o mesmo trajeto, para que isso não influenciasse na variação dos dados coletados.

O trecho de estudo é dividido em cinco segmentos de 100 m, o levantamento foi conduzido com o uso do aplicativo SmartIRI, sendo repetido cinco vezes no trecho de estudo, nas respectivas datas apresentadas na Tabela 3.

Observou-se, a partir do 2º levantamento, que durante a aquisição das informações nos cinco levantamentos diários do trecho de estudo, ocorria, em alguns casos, falha no aplicativo e divergência significativa entre os dados obtidos nesses levantamentos consecutivos. Para resolver essa situação, o autor considerou apenas os levantamentos que não apresentaram erros e que apresentavam maior similaridade com os dados do levantamento anterior e, posteriormente, através de uma análise comparativa com os resultados obtidos em levantamentos anteriores, definiu-se o levantamento representativo do trecho de estudo.

A análise dos dados foi realizada verificando os valores discrepantes, através do coeficiente de correlação de Pearson (calculado pelo *software Microsoft Excel*), analisando o valor de IRI de cada segmento, para cada levantamento, e destacando os valores com maior discrepância. Após a análise, era considerado o levantamento que apresentasse uma relação maior de valores similares.

O levantamento foi iniciado com o veículo em andamento, pois conforme exposto na revisão bibliográfica, item 2.3.2.1, o levantamento deve ser iniciado quando a velocidade do veículo chegar a 60 km/h. Com isso, o ponto de partida deu-se em um ponto anterior ao ponto inicial do levantamento e, deste ponto de partida,

faz-se a rota até o ponto inicial – mantendo a velocidade de 60 km/h. Na Figura 35 encontra-se a rota seguida para realizar o levantamento da irregularidade longitudinal.

Figura 35 - Rota para levantamento da irregularidade longitudinal



Fonte: Google Maps – adaptado pelo autor (2022).

Em síntese, conforme citado anteriormente, em cada data estabelecida, foram realizados cinco levantamentos no trecho de estudo, exceto para o 1º levantamento – 22/08/2021. Considerando o mapa da Figura 35, o veículo estando no ponto de partida (0 km/h), trafegava-se até o ponto de início do levantamento – início no aplicativo SmartIRI (± 45 km/h) e seguia até o ponto de término do levantamento – término no aplicativo SmartIRI (± 60 km/h), então, ao finalizar o levantamento no aplicativo, retorna-se para o ponto de partida (0 km/h) e iniciava todo trajeto novamente, até atingir os cinco levantamentos.

Após o levantamento da irregularidade longitudinal, com o aplicativo SmartIRI, iniciava-se o levantamento dos defeitos de superfície do trecho.

5.2.1 Levantamento dos defeitos do pavimento

No primeiro levantamento, considerando que o acostamento ainda não estava demarcado, fez-se necessário realizar a marcação a cada 100 metros. Concluindo a demarcação a cada 100 metros, iniciava-se o levantamento dos defeitos de superfície do pavimento. O levantamento dos defeitos foi realizado através de medições com trena.

No primeiro levantamento, ao encontrar um defeito no pavimento, foi realizado anotação do tipo de defeito, posição na via e sua extensão, para que, nos próximos levantamentos pudesse ser monitorado os mesmos defeitos e tivesse maior controle de possíveis defeitos que, possivelmente, surgiriam na superfície do pavimento.

Figura 36 - Levantamento dos defeitos no pavimento



Fonte: Elaboração própria (2022).

O levantamento dos defeitos foi realizado a cada 100 metros, devido ao fato do trecho para o levantamento de IRI ser dividido em cinco segmentos de 100 metros, considerando que essa pesquisa teve como objetivo acompanhar as alterações dos valores de irregularidade longitudinal dos segmentos e analisá-los, buscando compreender quais os fatores motivam essas alterações, uma vez que os defeitos dos pavimentos reduzem o conforto ao rolamento.

Durante a realização do levantamento dos defeitos de superfície do pavimento foi necessário realizar a demarcação da numeração do defeito no acostamento, bem como o início e fim considerado para cada medição. A cada novo levantamento a demarcação era apagada e marcada novamente, considerando o ponto de início e fim da medição do defeito para aquele levantamento. Na Figura 37 visualiza-se a demarcação do acostamento. Ressalta-se que para alguns defeitos não

foi possível realizar a demarcação, principalmente os que não estavam no lado do acostamento.

Figura 37 - Demarcação de controle dos defeitos



Fonte: Elaboração própria (2022).

Ainda, vale ressaltar que não foi realizado o acompanhamento do afundamento de trilha de roda, por questões de segurança, falta de equipamento apropriado para a medição e imprecisão no levantamento, pois seria necessário verificar ao longo de cada segmento (de 100 metros) a variação do afundamento.

5.2.2 Análise dos resultados

A análise dos resultados foi realizada verificando as alterações ocorridas nos valores de IRI ao longo dos meses e na evolução dos defeitos da superfície do pavimento.

Os dados extraídos do aplicativo SmartIRI e os obtidos no levantamento dos defeitos de superfície do pavimento, foram organizados em forma de planilhas no software Excel, que serão apresentadas nos resultados dessa pesquisa.

Com os dados dos levantamentos, buscou-se responder os questionamentos abaixo:

1. Qual a relação dos valores de IRI com os defeitos encontrados no trecho?

2. Houve evolução dos defeitos e alteração nos valores de IRI? Quais os tipos de defeitos com maior recorrência?
3. Qual a relação da evolução dos defeitos com as alterações nos valores de IRI?
4. Quais as variáveis que podem ter gerado alterações nos valores de IRI?
5. O aplicativo SmartIRI apresenta boa repetibilidade dos dados? É recomendado para avaliação funcional do pavimento ao longo do tempo?

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir dos levantamentos realizados para obtenção dos dados, conforme descrito no Capítulo 5, obteve-se os dados apresentados abaixo. Ainda, serão apresentados os dados obtidos nos 7 levantamentos e para cada segmento, separadamente.

A ideia para os dados apresentados é de separá-los por segmento, para que se consiga analisar o que ocorreu em cada um, comparando se houve variação do IRI e se, conseqüentemente, os defeitos do pavimento também variaram.

Quadro 1 - Levantamentos de IRI (m/km)

1º LEVANTAMENTO - 22/08/2021								
SEGMENTO	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO CONFORTO PAVIMENTO (SmartIRI)	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
1	50,5	BOM	-27,8810068	-54,4953088	-27,8804729	-54,4961362	111	2,156379
2	61,83	EXCELENTE	-27,8804729	-54,4961362	-27,8797349	-54,4968498	107	1,480156
3	62,5	EXCELENTE	-27,8797349	-54,4968498	-27,8790622	-54,4975715	103	1,434588
4	61,5	EXCELENTE	-27,8790622	-54,4975715	-27,8783383	-54,4982324	103	1,530438
5	62,16	EXCELENTE	-27,8783383	-54,4982324	-27,877612	-54,4989378	106	1,538244
2º LEVANTAMENTO - 26/09/2021								
SEGMENTO	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO CONFORTO PAVIMENTO (SmartIRI)	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
1	43,66	BOM	-27,8810448	-54,4953787	-27,8804471	-54,4961104	108	2,337663
2	55,28	EXCELENTE	-27,8804471	-54,4961104	-27,8797282	-54,496859	108	1,781514
3	59,16	EXCELENTE	-27,8797282	-54,496859	-27,879058	-54,4975413	100	1,564126
4	60,83	EXCELENTE	-27,879058	-54,4975413	-27,8783328	-54,4982168	104	1,563386
5	62,66	EXCELENTE	-27,8783328	-54,4982168	-27,8776308	-54,4989342	105	1,453817
3º LEVANTAMENTO - 31/10/2021								

SEGMENTO	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO CONFORTO PAVIMENTO (SmartIRI)	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
1	52	BOM	-27,8809875	-54,4952998	-27,8805174	-54,4960726	104	2,040795
2	61,33	EXCELENTE	-27,8805174	-54,4960726	-27,8797987	-54,4967788	105	1,461815
3	60,14	EXCELENTE	-27,8797987	-54,4967788	-27,8790112	-54,4975483	115	1,550523
4	64,33	EXCELENTE	-27,8790112	-54,4975483	-27,8782805	-54,4983149	110	1,365169
5	60,16	EXCELENTE	-27,8782805	-54,4983149	-27,8775048	-54,4989125	104	1,591661
4º LEVANTAMENTO - 28/11/2021								
SEGMENTO	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO CONFORTO PAVIMENTO (SmartIRI)	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
1	48,5	BOM	-27,8810316	-54,4953237	-27,8804387	-54,4961201	112	2,194967
2	62,83	EXCELENTE	-27,8804387	-54,4961201	-27,8796918	-54,4968584	110	1,462287
3	62,33	EXCELENTE	-27,8796918	-54,4968584	-27,8789415	-54,4975498	107	1,438932
4	61,83	EXCELENTE	-27,8789415	-54,4975498	-27,878255	-54,4982974	105	1,484141
5	61,5	EXCELENTE	-27,878255	-54,4982974	-27,8775406	-54,4989736	103	1,599433
5º LEVANTAMENTO - 26/12/2021								
SEGMENTO	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO CONFORTO PAVIMENTO (SmartIRI)	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
1	49,62	BOM	-27,8810358	-54,4953058	-27,8804683	-54,4961167	113	2,153441
2	58,5	EXCELENTE	-27,8804683	-54,4961167	-27,8797809	-54,4967793	100	1,668627
3	56,14	EXCELENTE	-27,8797809	-54,4967793	-27,8790384	-54,4975254	110	1,70774
4	58,57	EXCELENTE	-27,8790384	-54,4975254	-27,8782449	-54,4982764	114	1,679182
5	62,16	EXCELENTE	-27,8782449	-54,4982764	-27,8775347	-54,4989635	103	1,558416
6º LEVANTAMENTO - 23/01/2022								
SEGMENTO	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO CONFORTO PAVIMENTO (SmartIRI)	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
1	48,12	BOM	-27,8810295	-54,4953683	-27,8804897	-54,4961003	105	2,224383
2	60	EXCELENTE	-27,8804897	-54,4961003	-27,8796983	-54,4968769	116	1,593721
3	62,83	EXCELENTE	-27,8796983	-54,4968769	-27,8789781	-54,4975973	106	1,383279
4	62,16	EXCELENTE	-27,8789781	-54,4975973	-27,8782713	-54,4982975	104	1,510318
5	63,83	EXCELENTE	-27,8782713	-54,4982975	-27,8775485	-54,4990037	106	1,451826
6º LEVANTAMENTO - 20/02/2022								
SEGMENTO	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO CONFORTO PAVIMENTO (SmartIRI)	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
1	48,87	BOM	-27,8810339	-54,4954816	-27,8804631	-54,4962487	110	2,148284
2	55,28	EXCELENTE	-27,8804631	-54,4962487	-27,8797156	-54,4969626	108	1,774384
3	61,5	EXCELENTE	-27,8797156	-54,4969626	-27,8790349	-54,4977253	106	1,528443
4	65,5	EXCELENTE	-27,8790349	-54,4977253	-27,8782774	-54,4985117	114	1,337224
5	61,83	EXCELENTE	-27,8782774	-54,4985117	-27,8775196	-54,4991242	103	1,600863

Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

A seguir serão apresentados os dados de cada segmento. Os dados aqui apresentados serão referentes as medições de IRI realizadas no período de agosto/2021 à fevereiro/2022.

Segmento 1:

No Quadro 2 abaixo encontra-se o valor de IRI, a velocidade média percorrida com o veículo, a classificação do conforto do pavimento e a distância percorrida, segundo o aplicativo SmartIRI, durante cada levantamento para o Segmento 1.

Quadro 2 - Levantamento de IRI do Segmento 1

TRECHO 1					
1º Levantamento 22/08/2021	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	08:00:09	50,5	BOM	111	2,156378683
2º Levantamento 26/09/2021	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	08:54:27	43,66	BOM	108	2,337662589
3º Levantamento 31/10/2021	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	08:37:44	52	BOM	104	2,040794836
4º Levantamento 28/11/2021	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	07:52:29	48,5	BOM	112	2,194967071
5º Levantamento 26/12/2021	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	08:46:45	49,62	BOM	113	2,153441222
6º Levantamento 23/01/2022	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	09:44:10	48,12	BOM	105	2,224382915
7º Levantamento 20/02/2022	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	09:33:04	48,87	BOM	110	2,148284329

Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

No Quadro 3 encontra-se o resumo dos valores de IRI, de cada levantamento, para o Segmento 1.

Quadro 3 - Resumo dos valores de IRI para o Segmento 1

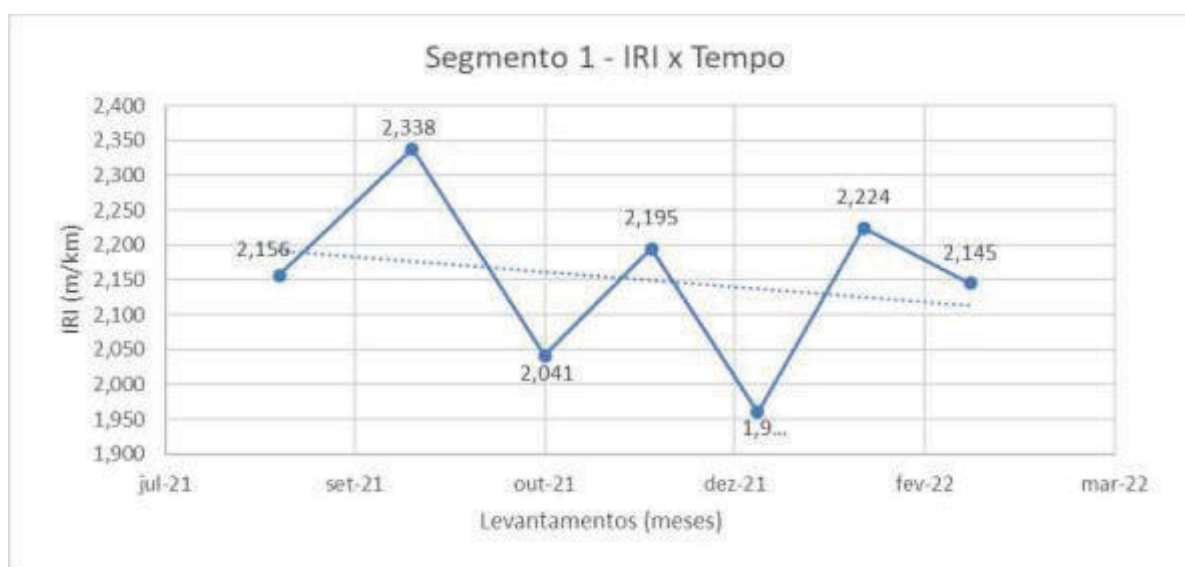
LEVANTAMENTOS	IRI (m/km)
1º Levantamento agosto/2021	2,15637868
2º Levantamento setembro/2021	2,33766259
3º Levantamento outubro/2021	2,04079484

4º Levantamento novembro/2021	2,19496707
5º Levantamento dezembro/2021	2,15344122
6º Levantamento janeiro/2022	2,22438291
7º Levantamento fevereiro/2022	2,14828433

Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

Do quadro acima, consegue-se realizar o Gráfico 1 abaixo, onde é possível visualizar a variação dos valores de IRI (m/km) para cada levantamento do Segmento 1.

Gráfico 1 - IRI x Tempo do Segmento 1

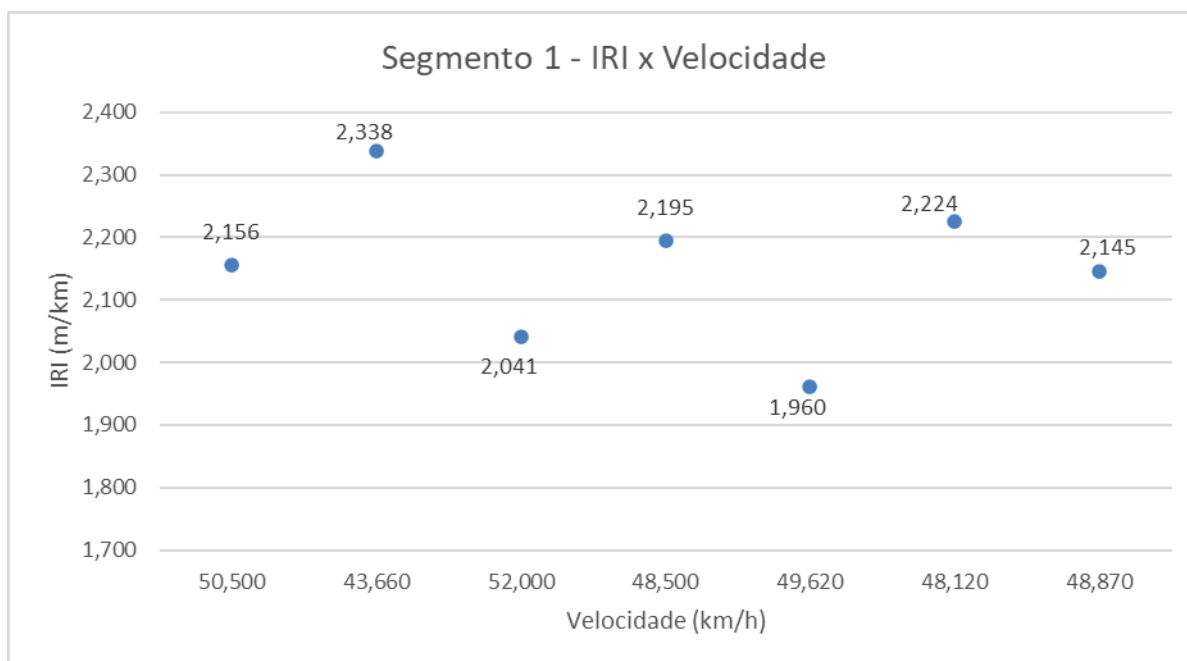


Fonte: Elaboração Própria (2022).

No Quadro 3 e Gráfico 1 verifica-se as variações nos dados de IRI deste segmento. Como observa-se, os valores de IRI obtidos apresentaram variações irregulares, pois do levantamento de agosto a setembro ocorreu um aumento no valor de IRI e no levantamento de outubro esse valor diminuiu bruscamente. O mesmo acontece nos levantamentos de outubro a dezembro, onde em novembro o valor de IRI aumenta e em dezembro diminui novamente.

Essa variação irregular dos valores de IRI pode ser explicada pela variação da velocidade média em cada levantamento e devido ao veículo não passar na mesma localização do levantamento anterior, como pode ser verificado pelos valores de latitude e longitude do Quadro 1 e da variação de velocidade do Gráfico 2.

Gráfico 2 - IRI x Velocidade do Segmento 1



Fonte: Elaboração Própria (2022).

O segmento 1 tem seu início coincidindo com o início do trecho de estudo, na rotatória, o que pode ter influenciado os dados obtidos, considerando que o início do levantamento no aplicativo deveria ser realizado sempre no mesmo ponto, porém, analisando as coordenadas geográficas fornecidas pelo aplicativo, percebe-se que houve variação nesse ponto inicial, devido ao veículo estar em movimento e não ser possível prever com exatidão o início do levantamento no SmartIRI.

Ainda, conforme já citado na revisão bibliográfica e no método de estudo, a velocidade recomendada para o levantamento é a partir de 60 km/h, porém, considerando que o início do trecho de estudo é na rotatória (Figura 35), por questões de segurança, não foi possível iniciar o levantamento nessa velocidade. Os levantamentos iniciaram com uma velocidade de aproximadamente 45 km/h e houve uma aceleração do veículo para atingir 60 km/h, essa aceleração foi realizada, em grande parte, no segmento 1 e pode ter impactado diretamente nos dados.

Segundo Bisconsini (2016) “um dos desafios na obtenção do índice de irregularidade por meio de acelerações verticais é a variação na velocidade do veículo.” (BISCONSINI, 2016, p. 30). Com a variação da velocidade ocorrem alterações na frequência dos desvios verticais e nos valores de pico das acelerações.

Apesar dos valores de IRI para esse segmento não serem crescentes ao longo do tempo, observa-se no Quadro 2 que não há uma variação significativa na classificação de conforto, pois manteve-se como “bom” ao longo dos levantamentos.

Ainda, através do acompanhamento visual e por medições dos defeitos de cada segmento, consegue-se verificar a evolução, se teve aumento em sua dimensão e se surgiram mais defeitos ao longo dos levantamentos. No Quadro 4 abaixo encontra-se a relação de defeitos do Segmento 1 medidos em cada levantamento.

Quadro 4 - Defeitos de superfície do pavimento no Segmento 1

LEVANTAMENTOS	DEFEITO 1 Buraco/Pan ela	DEFEITO 2 Trinca Interligada "Jacaré" (J)		DEFEITO 3 Trinca interligada "Jacaré" (J)		DEFEITO 4 Trinca Longitudinal Curta (TLC)	
	Área [m ²]	Extensão [m]	Largura [m]	Extensão [m]	Largura [m]	Extensão [m]	Abertura [m]
1º Levantamento	0,73	2,40	0,35	1,00	1,21	0,95	0,032
2º Levantamento	0,73	2,50	0,37	1,00	1,21	1,00	0,035
3º Levantamento	0,735	2,60	0,37	1,10	1,25	1,00	0,035
4º Levantamento	REMENDO - 0,75 m ²	2,60	0,40	1,20	1,25	1,00	0,040
5º Levantamento	0,75	2,65	0,41	1,20	1,25	1,01	0,040
6º Levantamento	0,75	2,65	0,41	1,23	1,28	1,01	0,042
7º Levantamento	0,75	2,70	0,43	1,25	1,30	1,05	0,042

Fonte: Elaboração Própria (2022).

Como verifica-se no Quadro 4 houve aumento na dimensão dos defeitos encontrados no segmento 1, resultado que não vai de acordo com alguns dados de IRI encontrados, pois não houve aumento constante do IRI para esse segmento.

O defeito 1 – buraco/panela passou a se tornar um remendo a partir do 4º levantamento, conforme observa-se na Figura 38. Ao trafegar no trecho, esse defeito tem um impacto considerável no conforto ao rolamento, por isso explica-se a existência de poucos defeitos nesse segmento e o nível de conforto ser “bom” e não excelente, como nos demais segmentos.

Figura 38 – Defeito 1 do segmento 1



Fonte: Elaboração Própria (2022).

Apesar da intervenção realizada no defeito 1, ele estava localizado no início do segmento, onde ocorreu algumas divergências entre os levantamentos de IRI pelo aplicativo SmartIRI. Com isso, analisando os dados obtidos, nota-se que essa intervenção não foi percebida como aumento no conforto ao rolamento.

Segmento 2:

No Quadro 5 abaixo encontra-se o valor de IRI, a velocidade média percorrida com o veículo, a classificação do conforto do pavimento e a distância percorrida, segundo o aplicativo SmartIRI, durante cada levantamento do Segmento 2.

Quadro 5 - Levantamento de IRI do Segmento 2

	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
1º Levantamento	08:04:04	61,83	EXCELENTE	107	1,480156033
2º Levantamento	08:57:41	55,28	EXCELENTE	108	1,781514028
3º Levantamento	08:41:00	61,33	EXCELENTE	105	1,461814868
4º Levantamento	07:55:01	62,83	EXCELENTE	110	1,462287497
5º Levantamento	08:49:16	58,5	EXCELENTE	100	1,668626789
6º Levantamento	09:46:59	60	EXCELENTE	116	1,593721344
	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)

7º Levantamento	09:34:43	55,28	EXCELENTE	108	1,774383589
------------------------	----------	-------	-----------	-----	-------------

Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

No Quadro 6 encontra-se o resumo dos valores de IRI, de cada levantamento, para o Segmento 2.

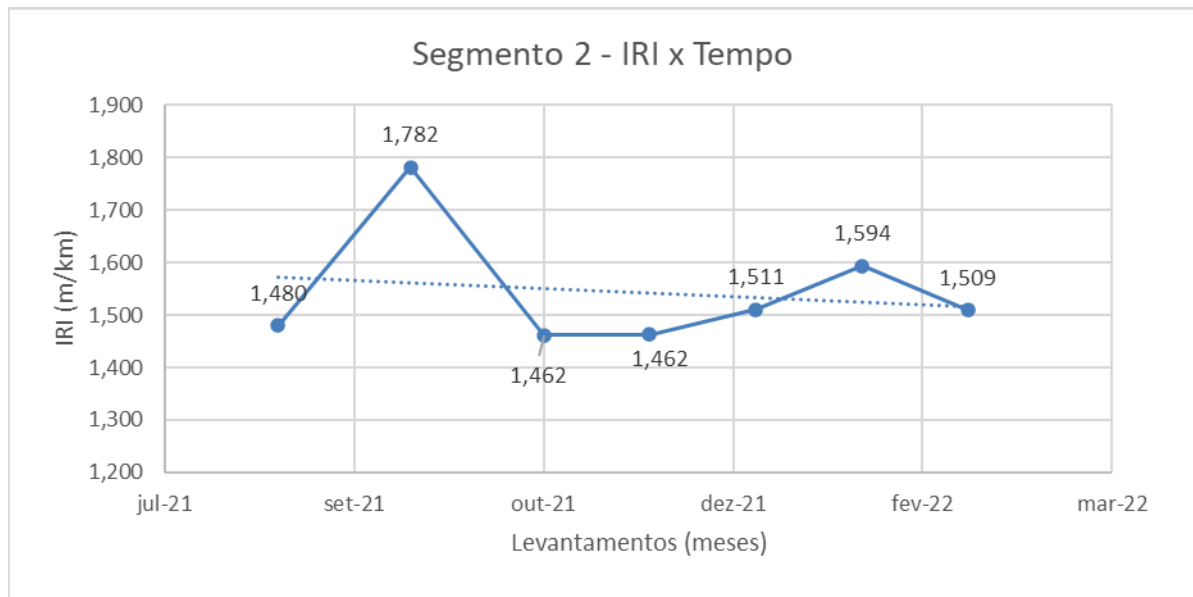
Quadro 6 - Resumo dos valores de IRI para o Segmento 2

LEVANTAMENTOS	IRI (m/km)
1º Levantamento agosto/2021	1,48015603
2º Levantamento setembro/2021	1,78151403
3º Levantamento outubro/2021	1,46181487
4º Levantamento novembro/2021	1,4622875
5º Levantamento dezembro/2021	1,66862679
6º Levantamento janeiro/2022	1,59372134
7º Levantamento fevereiro/2022	1,77438359

Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

Do quadro acima, consegue-se realizar o Gráfico 3 abaixo, onde é possível visualizar a variação dos valores de IRI (m/km) para cada levantamento do Segmento 2.

Gráfico 3 - IRI x Tempo do Segmento 2



Fonte: Elaboração Própria (2022).

Com o Quadro 6 e Gráfico 3 é possível analisar as variações nos dados de IRI deste segmento. Como observa-se, os dados apresentaram variações irregulares, pois do levantamento de agosto a setembro ocorreu um aumento no valor de IRI e no levantamento de outubro houve diminuição desse valor. O mesmo acontece nos levantamentos de dezembro a janeiro, onde em dezembro o valor de IRI aumenta e em janeiro diminui novamente.

Assim como explicado para o segmento 1, essa variação irregular dos valores de IRI pode ser explicada pela variação da velocidade média em cada levantamento e devido ao veículo não passar na mesma localização do levantamento anterior. Do mesmo modo, a classificação também se manteve inalterada em todos os levantamentos, independente da variação nos valores de IRI.

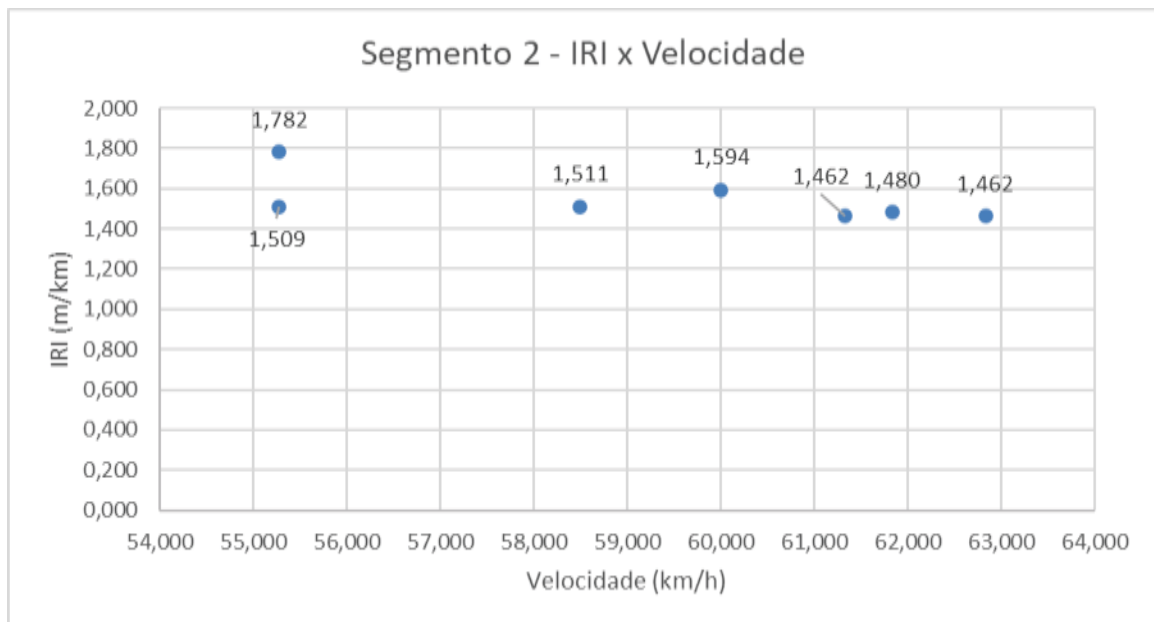
No Gráfico 3 observa-se que há 3 picos de valores de IRI – 1,782 m/km; 1,669 m/km e 1,774 m/km, os quais, ao analisar os dados de velocidade média, percebe-se que são referentes aos levantamentos com um menor valor de velocidade média, conforme verifica-se no Quadro 7 e Gráfico 4.

Quadro 7 - Velocidade média e valores de IRI do segmento 2

Levantamentos	Vel. média (km/h)	IRI (m/km)
1º Levantamento	61,83	1,48016
2º Levantamento	55,28	1,78151
3º Levantamento	61,33	1,46181
4º Levantamento	62,83	1,46229
5º Levantamento	58,50	1,66863
6º Levantamento	60,00	1,59372
7º Levantamento	55,28	1,77438

Fonte: Elaboração Própria (2022).

Gráfico 4 - IRI x Velocidade do Segmento 2



Fonte: Elaboração Própria (2022).

Duarte (2018), em sua pesquisa, verificou uma forte correlação ($R^2 = 0,72$) entre altos valores de IRI e velocidades baixas, assim como apontado nessa pesquisa. Sendo assim, essa constatação pode ser explicada pelo fato de os pneus, quando em baixas velocidades, absorverem pequenas saliências, devido ao fenômeno de envoltória dos pneus, conforme explicado pelo autor.

Ainda, no Quadro 8 abaixo encontra-se a relação de defeitos do Segmento 2 medidos em cada levantamento.

Quadro 8 - Defeitos de superfície do pavimento no Segmento 2

LEVANTAMENTOS	DEFEITO 1 Trinca Interligada "Jacaré" (J)		DEFEITO 2 Trinca Isolada Longitudinal Longa (TTL)	DEFEITO 3 Trinca Isolada Longitudinal Longa (TTL)	DEFEITO 4 Trinca Isolada Longitudinal Curta (TLC)
	Extensão [m]	Largura [m]	Extensão [m]	Extensão [m]	Extensão [m]
1º Levantamento	2,95	1,24	4,90	2,80	-
2º Levantamento	3,00	1,24	5,00	2,87	-
3º Levantamento	3,00	1,27	5,15	2,90	-
4º Levantamento	3,30	1,27	5,15	2,90	0,65
5º Levantamento	3,30	1,27	5,20	2,90	0,65
6º Levantamento	3,35	1,30	5,23	3,00	0,70
7º Levantamento	3,35	1,30	5,23	3,00	0,70

Fonte: Elaboração Própria (2022).

Ao observar os dados de defeitos do pavimento para o segmento 2, percebe-se que assim como no segmento 1, houve acréscimo na extensão dos defeitos. Ainda, considerando a dimensão dos defeitos e que ao realizar registros fotográficos não foi possível visualizar com precisão, para os defeitos do segmento 2 foi realizado apenas acompanhamento por medição.

Segmento 3:

No Quadro 9 abaixo encontra-se o valor de IRI, a velocidade média percorrida com o veículo, a classificação do conforto do pavimento e a distância percorrida, segundo o aplicativo SmartIRI, durante cada levantamento do Segmento 3.

Quadro 9 - Levantamento de IRI do Segmento 3

	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
1º Levantamento	08:04:10	62,5	EXCELENTE	103	1,43458771
2º Levantamento	08:57:48	59,16	EXCELENTE	100	1,56412605
3º Levantamento	08:41:06	60,14	EXCELENTE	115	1,55052323

4º Levantamento	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	07:55:07	62,33	EXCELENTE	107	1,43893175
5º Levantamento	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	08:49:22	56,14	EXCELENTE	110	1,70773988
6º Levantamento	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	09:47:06	62,83	EXCELENTE	106	1,38327896
7º Levantamento	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	09:34:50	61,5	EXCELENTE	106	1,52844321

Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

No Quadro 10 encontra-se o resumo dos valores de IRI, de cada levantamento, para o Segmento 3.

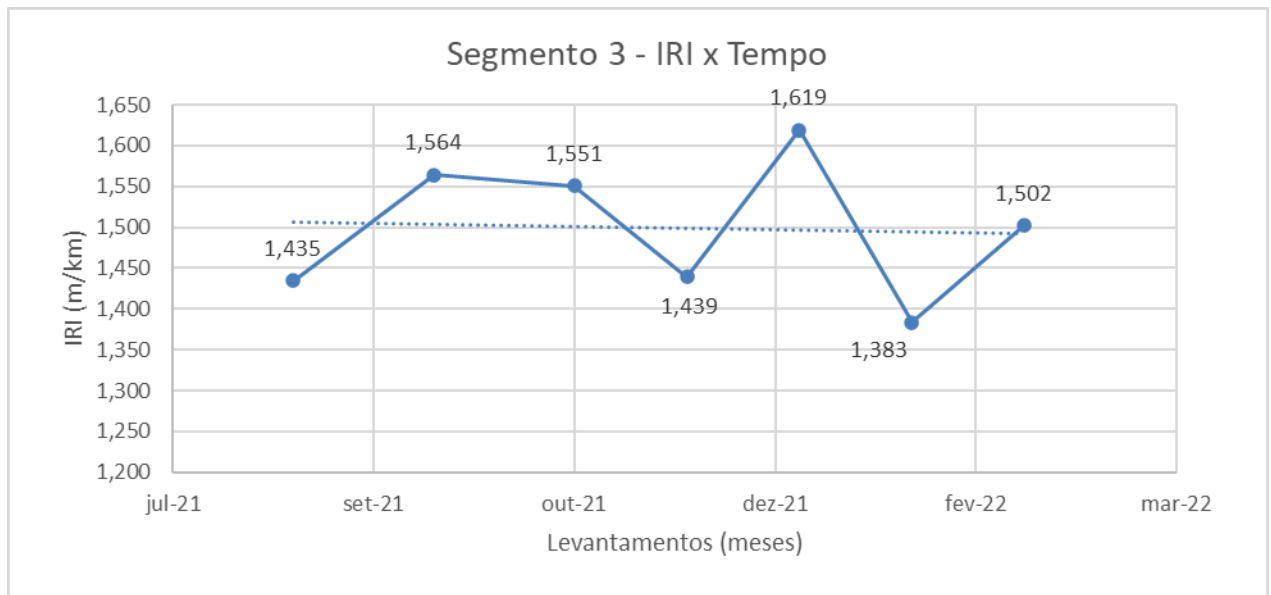
Quadro 10 - Resumo dos valores de IRI para o Segmento 3

LEVANTAMENTOS	IRI (m/km)
1º Levantamento agosto/2021	1,434588
2º Levantamento setembro/2021	1,564126
3º Levantamento outubro/2021	1,550523
4º Levantamento novembro/2021	1,438932
5º Levantamento dezembro/2021	1,70774
6º Levantamento janeiro/2022	1,383279
7º Levantamento fevereiro/2022	1,528443

Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

Do quadro acima, consegue-se realizar o Gráfico 5 abaixo, onde é possível visualizar a variação dos valores de IRI (m/km) para cada levantamento do Segmento 3.

Gráfico 5 - IRI x Tempo do Segmento 3



Fonte: Elaboração Própria (2022).

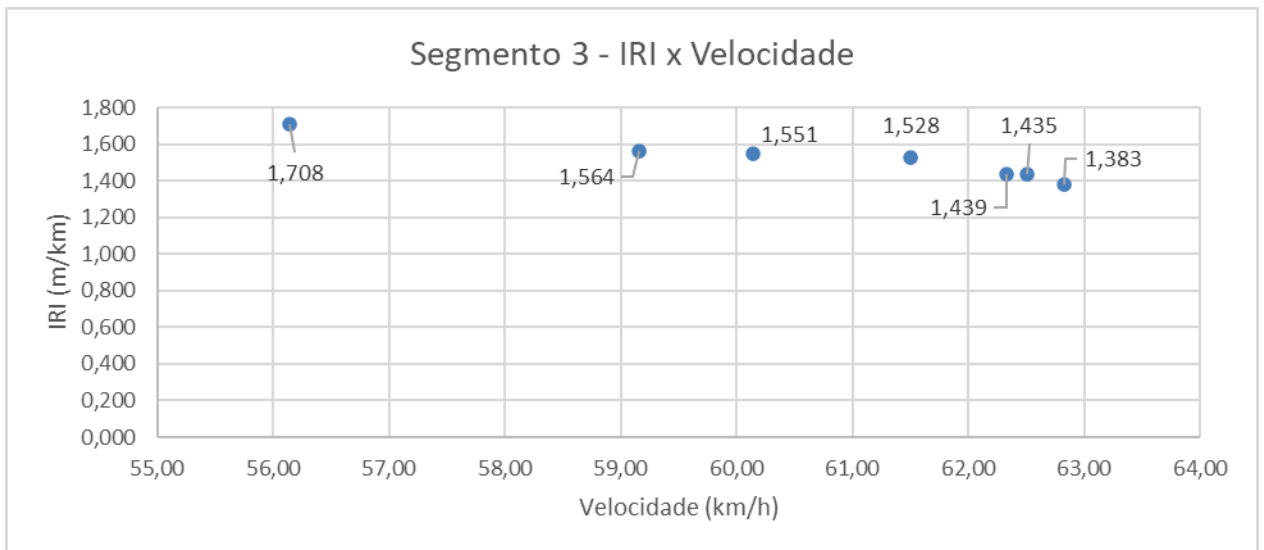
Verificando o Quadro 10 e Gráfico 5, percebe-se que no levantamento de dezembro/2021 houve um acréscimo significativo no valor de IRI, que pode ter sido motivado pela variação nos dados de latitude e longitude do segmento e pela diminuição da velocidade média nesse levantamento, conforme justificado no segmento 2 e constatado no Quadro 11 e Gráfico 6 abaixo.

Quadro 11 - Velocidade média e valores de IRI do segmento 3

Levantamentos	Vel. média (km/h)	IRI (m/km)
1º Levantamento	62,500	1,435
2º Levantamento	59,160	1,564
3º Levantamento	60,140	1,551
4º Levantamento	62,330	1,439
5º Levantamento	56,140	1,708
6º Levantamento	62,830	1,383
7º Levantamento	61,500	1,528

Fonte: Elaboração Própria (2022).

Gráfico 6 - IRI x Velocidade do Segmento 3



Fonte: Elaboração Própria (2022).

No Quadro 12 abaixo encontra-se a relação de defeitos do Segmento 3 medidos em cada levantamento.

Quadro 12 - Defeitos de superfície do pavimento no Segmento 3

LEVANTAMENTOS	DEFEITO 1 Trinca Interligada "Jacaré" (J)		DEFEITO 2 Trinca Interligada "Jacaré" (J)		DEFEITO 3 Trinca Isolada Longitudinal Longa (TTL)	DEFEITO 4 Trinca Isolada Longitudinal Longa (TTL)	DEFEITO 5 Trinca Isolada Longitudinal Longa (TTL)
	Extensão [m]	Largura [m]	Extensão [m]	Largura [m]	Extensão [m]	Extensão [m]	Extensão [m]
1º Levantamento	4,00	0,75	1,00	0,65	2,05	2,60	8,95
2º Levantamento	4,00	0,75	1,05	0,68	2,10	2,60	9,25
3º Levantamento	4,10	0,80	1,09	0,70	2,13	2,65	10,10
4º Levantamento	4,10	0,80	1,10	0,72	2,15	2,70	10,10
5º Levantamento	4,15	0,85	1,10	0,75	2,20	2,70	10,20
6º Levantamento	4,20	0,85	1,15	0,80	2,20	2,80	10,25
7º Levantamento	4,20	0,85	1,15	0,80	2,24	2,80	10,25

Fonte: Elaboração Própria (2022).

Assim como nos demais segmentos, os defeitos verificados no Segmento 3 também apresentaram um aumento em sua dimensão, o que pode ter sido percebido

ao trafegar pela via, porém as incompatibilidades nos dados de velocidade média, latitude e longitude podem ter sido mais significativas ao verificar a variação nos dados de IRI, pois esses dados não se apresentaram de forma linear.

Ainda, assim como no segmento 2, considerando a dimensão dos defeitos e que ao realizar registros fotográficos não foi possível visualizar com nitidez, para os defeitos do segmento 3 foi realizado apenas acompanhamento por medição.

Segmento 4:

No Quadro 13 abaixo encontra-se o valor de IRI, a velocidade média percorrida com o veículo, a classificação do conforto do pavimento e a distância percorrida, segundo o aplicativo SmartIRI, durante cada levantamento para o Segmento 4.

Quadro 13 - Levantamento de IRI do Segmento 4

1º	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
Levantamento	08:04:16	61,5	EXCELENTE	103	1,5304385
2º	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
Levantamento	08:57:54	60,83	EXCELENTE	104	1,56338627
3º	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
Levantamento	08:41:13	64,33	EXCELENTE	110	1,36516866
4º	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
Levantamento	07:55:13	61,83	EXCELENTE	105	1,48414125
5º	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
Levantamento	08:49:29	58,57	EXCELENTE	114	1,67918217
6º	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
Levantamento	09:47:12	62,16	EXCELENTE	104	1,51031767
7º	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
Levantamento	09:34:56	65,5	EXCELENTE	114	1,33722397

Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

No Quadro 14 encontra-se o resumo dos valores de IRI, de cada levantamento, para o Segmento 4.

Quadro 14 - Resumo dos valores de IRI para o Segmento 4

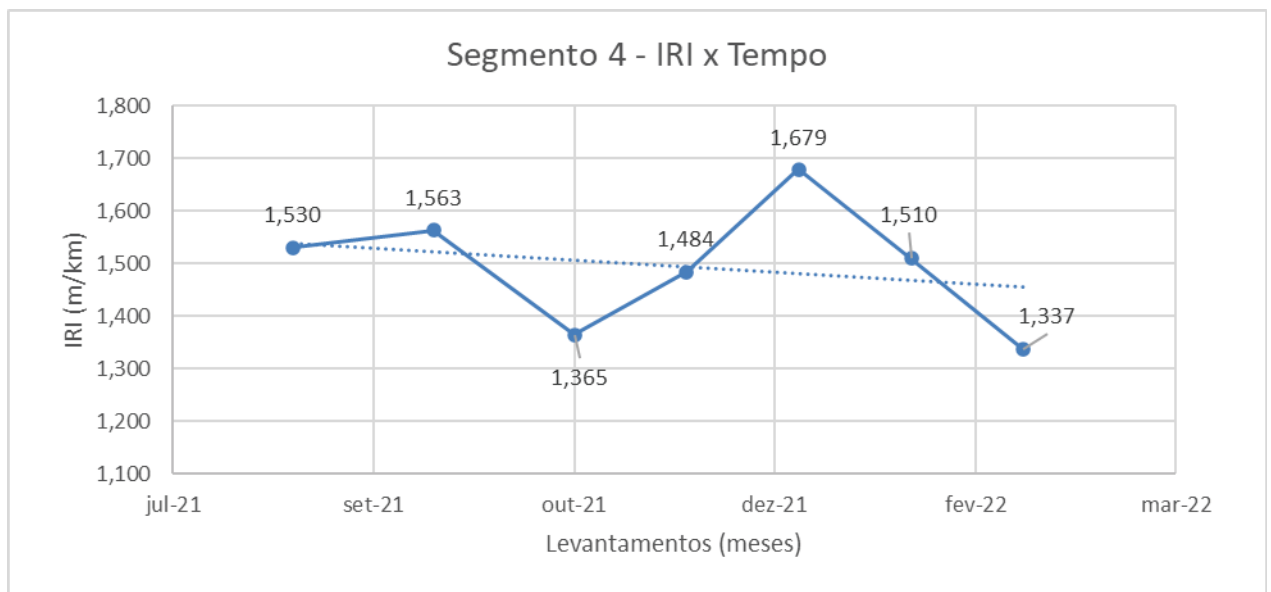
LEVANTAMENTOS	IRI (m/km)
1º Levantamento agosto/2021	1,530438
2º Levantamento setembro/2021	1,563386
3º Levantamento	1,365169

outubro/2021	
4º Levantamento novembro/2021	1,484141
5º Levantamento dezembro/2021	1,679182
6º Levantamento janeiro/2022	1,510318
7º Levantamento fevereiro/2022	1,337224

Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

Do quadro acima, consegue-se realizar o Gráfico 7 abaixo, onde é possível visualizar a variação dos valores de IRI (m/km) para cada levantamento do Segmento 4.

Gráfico 7 - IRI x Tempo do Segmento 4



Fonte: Elaboração Própria (2022).

Analisando o Quadro 14 e Gráfico 7, percebe-se que houve um decréscimo no valor de IRI de outubro/2021 e um aumento considerável no valor de IRI de dezembro/2021, essas variações podem ser explicadas pela diferença na velocidade média de cada levantamento e variação na coordenada geográfica dos levantamentos. Ainda, assim como nos demais segmentos, a classificação do conforto ao rolamento também se manteve inalterada em todos os levantamentos, independente da variação nos valores de IRI.

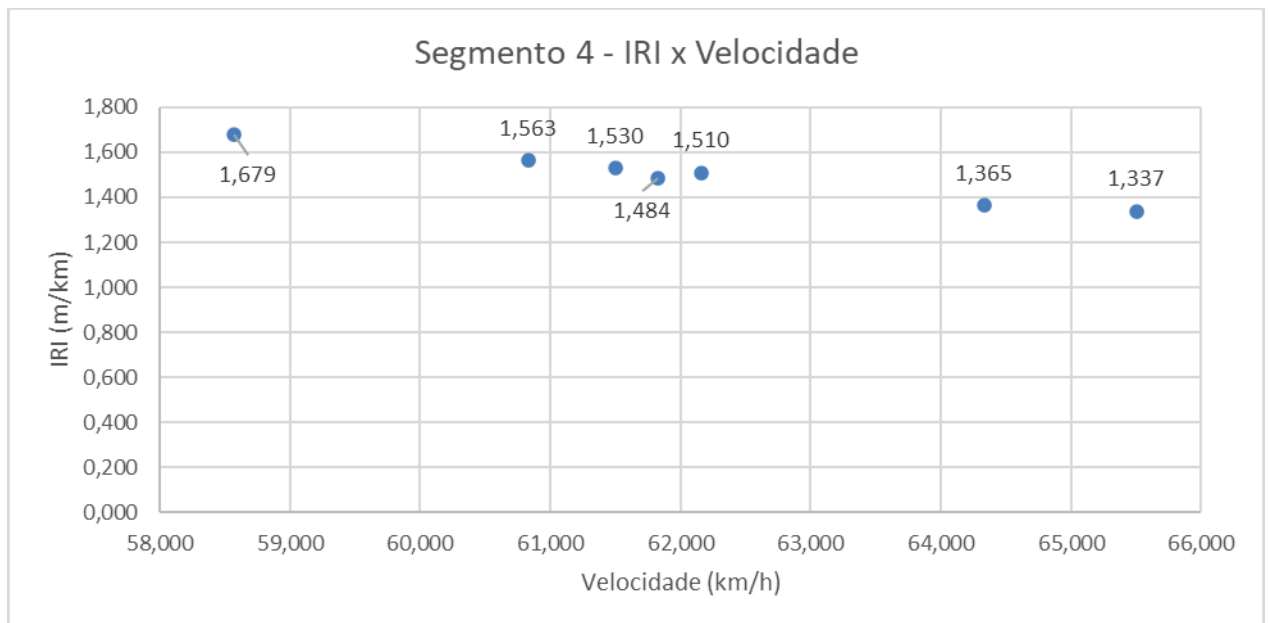
Assim como nos demais segmentos, para o segmento 4 também há um valor de pico de IRI e ao verificar a velocidade média desse levantamento, percebe-se que, do mesmo modo, está relacionado com o menor valor de velocidade média (Quadro 15).

Quadro 15 - Velocidade média e valores de IRI do segmento 4

Levantamentos	Vel. média (km/h)	IRI (m/km)
1º Levantamento	61,500	1,530
2º Levantamento	60,830	1,563
3º Levantamento	64,330	1,365
4º Levantamento	61,830	1,484
5º Levantamento	58,570	1,679
6º Levantamento	62,160	1,510
7º Levantamento	65,500	1,337

Fonte: Elaboração Própria (2022).

Gráfico 8 - IRI x Velocidade do Segmento 4



Fonte: Elaboração Própria (2022).

No Quadro 16 abaixo encontra-se a relação de defeitos do Segmento 4 medidos em cada levantamento.

Quadro 16 - Defeitos de superfície do pavimento no Segmento 4

LEVANTAMENTOS	DEFEITO 1 Trinca Interligada "Jacaré" (J)		DEFEITO 2 Trinca Interligada "Jacaré" (J)		DEFEITO 3 Trinca Longitudinal Longa (TTL)	DEFEITO 4 Trinca Interligada "Jacaré" (J)		DEFEITO 5 Trinca Interligada "Jacaré" (J)		DEFEITO 6 Trinca Interligada "Jacaré" (J)		DEFEITO 7 Trinca Longitudinal Longa (TTL)
	Extensão [m]	Largura [m]	Extensão [m]	Largura [m]	Extensão [m]	Extensão [m]	Largura [m]	Extensão [m]	Largura [m]	Extensão [m]	Largura [m]	Extensão [m]
1º Levantamento	11,90	0,60	3,60	0,57	1,40	8,75	0,75	4,70	0,47	2,40	0,32	3,00
2º Levantamento	12,00	0,65	3,60	0,60	2,06	8,85	0,75	4,70	0,50	2,80	0,35	3,10
3º Levantamento	12,40	0,68	3,60	0,60	2,06	9,05	0,78	4,90	0,50	2,80	0,35	3,23
4º Levantamento	13,00	0,70	3,95	0,63	2,28	9,05	0,80	5,00	0,56	2,80	0,37	3,30
5º Levantamento	13,00	0,70	3,95	0,65	2,30	9,10	0,80	5,00	0,56	2,85	0,40	3,30
6º Levantamento	13,05	0,72	4,00	0,65	2,30	9,15	0,85	5,03	0,61	2,90	0,40	3,32
7º Levantamento	13,10	0,72	4,00	0,67	2,35	9,15	0,85	5,05	0,65	2,90	0,40	3,35

Fonte: Elaboração Própria (2022).

Analisando o quadro dos defeitos de superfície no pavimento do segmento 4, observa-se que assim como nos demais segmentos houve aumento na dimensão dos defeitos, porém as variações nos valores de IRI não condizem com esse aumento, o que pode ser explicado pelas demais variáveis do levantamento.

Ainda, assim como nos segmentos anteriores, para os defeitos deste segmento foi realizado apenas acompanhamento por medição.

Segmento 5:

No Quadro 17 abaixo encontra-se o valor de IRI, a velocidade média percorrida com o veículo, a classificação do conforto do pavimento e a distância percorrida, segundo o aplicativo SmartIRI, durante cada levantamento para o Segmento 5.

Quadro 17 - Levantamento de IRI do Segmento 5

1º Levantamento	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	08:04:22	62,16	EXCELENTE	106	1,538243775
	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)

2º Levantamento	08:58:00	62,66	EXCELENTE	105	1,453817463
3º Levantamento	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	08:41:19	60,16	EXCELENTE	104	1,591660729
4º Levantamento	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	07:55:19	61,5	EXCELENTE	103	1,599432715
5º Levantamento	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	08:49:36	62,16	EXCELENTE	103	1,558416497
6º Levantamento	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	09:47:18	63,83	EXCELENTE	106	1,451825661
7º Levantamento	HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)
	09:35:02	61,83	EXCELENTE	103	1,600862959

Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

No Quadro 18 encontra-se o resumo dos valores de IRI, de cada levantamento, para o Segmento 5.

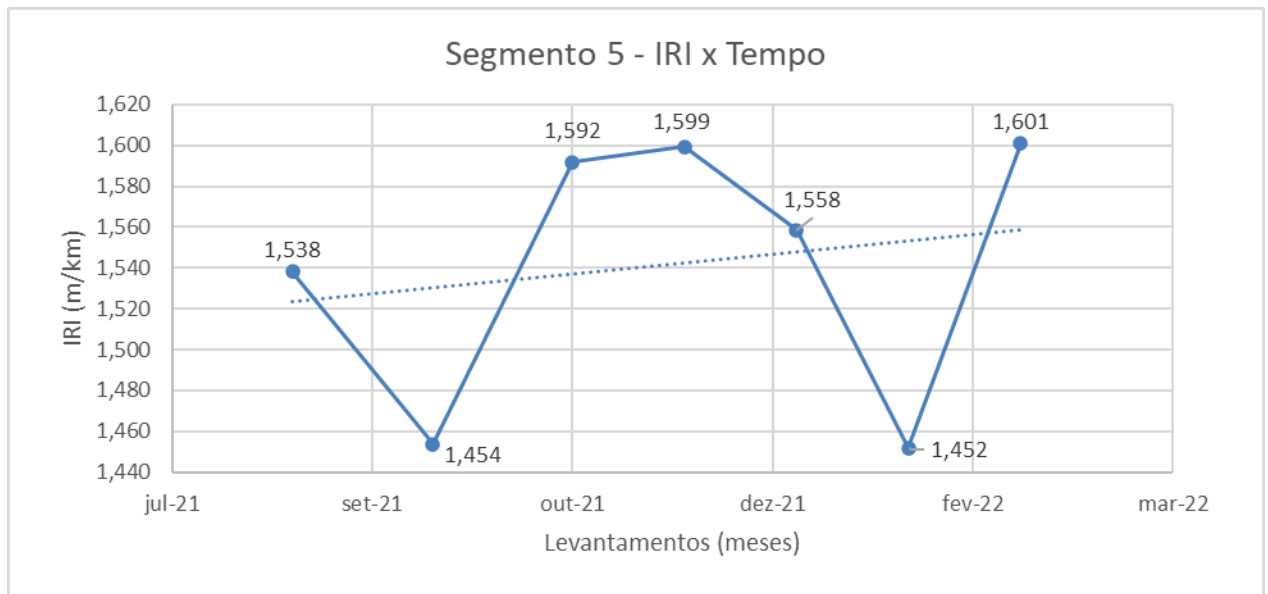
Quadro 18 - Resumo dos valores de IRI para o Segmento 5

LEVANTAMENTOS	IRI (m/km)
1º Levantamento agosto/2021	1,538244
2º Levantamento setembro/2021	1,453817
3º Levantamento outubro/2021	1,591661
4º Levantamento novembro/2021	1,599433
5º Levantamento dezembro/2021	1,558416
6º Levantamento janeiro/2022	1,451826
7º Levantamento fevereiro/2022	1,600863

Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

Do quadro acima, consegue-se realizar o Gráfico 9 abaixo, onde é possível visualizar a variação dos valores de IRI (m/km) para cada levantamento do Segmento 5.

Gráfico 9 - IRI x Tempo do Segmento 5



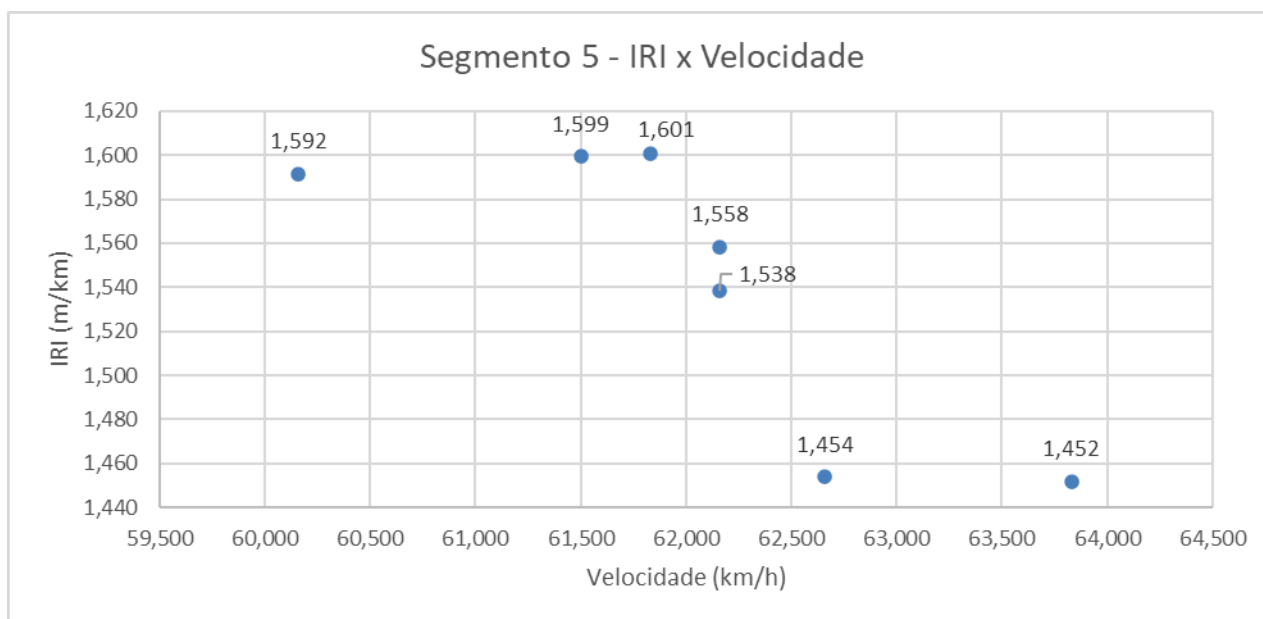
Fonte: Elaboração Própria (2022).

Com os resultados obtidos no levantamento do segmento 5, apresentados no Quadro 18 e Gráfico 9, verifica-se que, assim como nos demais segmentos, os valores de IRI não apresentam um acréscimo constante.

O segmento 5 é o segmento final do trecho de estudo, desse modo, o levantamento no aplicativo SmartIRI era encerrado ao final do segmento 5, o que pode ter influenciado nos valores de IRI desse segmento, uma vez que, assim como observado segmento 1, não foi possível prever com exatidão o término do levantamento no SmartIRI. Além disso, as alterações de velocidade média e posição geográfica a cada levantamento, assim como nos demais segmentos, também podem ter influenciado na variação dos valores de IRI.

No Gráfico 10 abaixo observa-se a relação dos valores de IRI com a variação da velocidade para esse trecho.

Gráfico 10 - IRI x Velocidade do Segmento 5



Fonte: Elaboração Própria (2022).

No Quadro 19 abaixo encontra-se a relação de defeitos do Segmento 5 medidos em cada levantamento.

Quadro 19 - Defeitos de superfície do pavimento no Segmento 5

LEVANTAMENTOS	DEFEITO 1 Trinca Interligada "Jacaré" (J)		DEFEITO 2 Trinca Interligada "Jacaré" (J)	
	Extensão [m]	Largura [m]	Extensão [m]	Largura [m]
1º Levantamento	22,60	0,85	21,60	0,90
2º Levantamento	23,40	0,85	21,60	0,93
3º Levantamento	24,60	0,90	21,60	0,95
4º Levantamento	24,60	0,90	21,63	0,95
5º Levantamento	24,60	0,92	21,63	0,98
6º Levantamento	24,65	0,95	21,70	1,00
7º Levantamento	24,65	0,95	21,70	1,00

Fonte: Elaboração Própria (2022).

Assim como nos demais segmentos, houve aumento na dimensão dos defeitos de superfície do pavimento, o que não foi possível acompanhar nos valores

obtidos de IRI. Ainda, considerando a extensão dos defeitos desse segmento, foi realizado a medição da largura onde ela apresentava sua maior extensão.

6.1 Análise e discussão dos resultados

Considerando que os resultados e algumas considerações já foram realizadas anteriormente é possível reunir alguns aspectos verificados em ambos os dados e ampliar a consideração sobre cada um.

Ao verificar os dados de cada segmento, percebe-se que as variações do IRI não seguiram conforme esperado (valores de IRI aumentando ao passar do tempo), por isso buscou-se compreender as variáveis que podem ter sido responsáveis por esse resultado obtido, que serão apresentadas abaixo.

6.1.1 Velocidade média

A velocidade do veículo influencia nos dados obtidos, visto que a trepidação do motor provoca ruídos e interfere nos valores de aceleração vertical. Ao realizar os levantamentos, buscou-se manter a mesma velocidade média ao longo dos segmentos, a fim de evitar erros nos dados obtidos.

Ao trafegar pelo trecho de estudo, durante o levantamento, acompanhava-se no aplicativo SmartIRI a velocidade média que estava sendo considerada, buscando ter maior controle dessa variável. Considerando o trânsito local e a imprecisão ao buscar atingir a mesma velocidade de levantamentos anteriores, houve diferença nas velocidades consideradas a cada levantamento, conforme observa-se no Quadro 1.

Ao verificar a análise dos valores de IRI realizada anteriormente, percebe-se que os dados não tiveram um acréscimo ao longo dos meses, conforme esperava-se ao iniciar os levantamentos. Com isso, compreende-se que as alterações na velocidade média e nos valores de IRI podem ter relação, uma vez que a velocidade implica na aceleração vertical e influencia nos dados obtidos.

Conforme já citado na revisão bibliográfica, o acelerômetro presente nos *smartphones* mede a variação da aceleração vertical através da aceleração da

gravidade e vibração do dispositivo. (ALMEIDA, 2018). Ainda, segundo Bisconsini (2016),

os acelerômetros dos smartphones produzem um ruído inerente ao sensor, que faz com que sejam gerados sinais de aceleração de pequena magnitude, mesmo quando o smartphone está estático. Esse ruído tem maior influência quanto menor a velocidade do veículo durante a coleta dos dados e menor o nível de irregularidade do pavimento. Isso porque nessas duas condições, a ordem de grandeza dos sinais de aceleração medidos se aproxima da amplitude do ruído. (BISCONSINI, 2016, p. 137).

Considerando a velocidade do veículo, durante o levantamento, influência no ruído do acelerômetro do *smartphone*, pode-se afirmar que as variações na velocidade média impactaram nos dados de IRI obtidos para cada segmento.

Em relação ao ruído do motor, ressalta-se que o suporte utilizado para o dispositivo pode ter influenciado na maior absorção desse ruído, pois o *smartphone* manteve-se diretamente apoiado ao painel do veículo. O suporte do tipo para-brisa, da Figura 33, apresentava oscilações visíveis ao trafegar pelo trecho, diferente do suporte tipo adesivo utilizado nessa pesquisa, por outro lado, ao utilizar o suporte do tipo para-brisa, o *smartphone* não absorveria tanto o ruído do motor, por estar fixado no para-brisa do veículo.

Ainda, ao considerar que o trecho de estudo inicia em uma rotatória e que, por questões de segurança, não é possível iniciar o levantamento a 60 km/h (recomendado nas bibliografias), para atingir essa velocidade foi necessário realizar uma aceleração no início do trecho de estudo, o que pode ter impactado nos valores de IRI, considerando a improbabilidade de atingir a mesma aceleração para todos os levantamentos.

6.1.2 Acelerômetro

O acelerômetro presente nos *smartphones* tem como referência a aceleração da gravidade e a vibração. Logo, na obtenção dos dados de IRI, podem existir “ruídos” indesejáveis agregados ao sinal obtido pelo acelerômetro, considerando que “o mesmo é sensível à aceleração da gravidade, à aceleração do

veículo, às acelerações centrífugas em curvas e à variação das acelerações coletadas pelos três eixos do acelerômetro [...]”. (BISCONSINI, 2016, p. 35 *apud* ALESSANDRONI et al., 2014)

Contudo, relacionando as variações ocorridas na velocidade média a cada levantamento e a influência direta do ruído do motor ao *smartphone* (devido ao fixador utilizado na pesquisa), compreende-se que houve erros acumulados nos dados obtidos devido a essas variáveis citadas.

6.1.3 Posição na via e distância percorrida

Ao realizar o levantamento no trecho de estudo, buscou-se passar pela trilha de roda formada no pavimento, de modo a garantir que o veículo estivesse passando sempre na mesma posição, porém, conforme consta no Quadro 1, houve diferença de posição para o levantamento de cada segmento, o que pode ter grande influência na obtenção dos dados.

A posição do veículo na via é analisada através das informações de latitude e longitude dos segmentos, para cada levantamento. No Quadro 1 é possível notar que a distância percorrida considerada em cada segmento se diferencia ao comparar os levantamentos realizados, isso justifica-se devido a variação das coordenadas geográficas, principalmente de início e término do levantamento.

Conforme verifica-se no Quadro 20 abaixo, houve uma pequena variação na posição geográfica considerada para segmento, no decorrer dos levantamentos.

Quadro 20 - Relação de latitude e longitude dos segmentos

SEGMENTO 1				
LEVANTAMENTOS	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL
1º Levantamento	-27,8810068	-54,4953088	-27,8804729	-54,4961362
2º Levantamento	-27,8810448	-54,4953787	-27,8804471	-54,4961104
3º Levantamento	-27,8809875	-54,4952998	-27,8805174	-54,4960726
4º Levantamento	-27,8810316	-54,4953237	-27,8804387	-54,4961201
5º Levantamento	-27,8810358	-54,4953058	-27,8804683	-54,4961167
6º Levantamento	-27,8810295	-54,4953683	-27,8804897	-54,4961003
7º Levantamento	-27,8810339	-54,4954816	-27,8804631	-54,4962487
SEGMENTO 2				
LEVANTAMENTOS	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL
1º Levantamento	-27,8804729	-54,4961362	-27,8797349	-54,4968498

2º Levantamento	-27,8804471	-54,4961104	-27,8797282	-54,496859
3º Levantamento	-27,8805174	-54,4960726	-27,8797987	-54,4967788
4º Levantamento	-27,8804387	-54,4961201	-27,8796918	-54,4968584
5º Levantamento	-27,8804683	-54,4961167	-27,8797809	-54,4967793
6º Levantamento	-27,8804897	-54,4961003	-27,8796983	-54,4968769
7º Levantamento	-27,8804631	-54,4962487	-27,8797156	-54,4969626
SEGMENTO 3				
LEVANTAMENTOS	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL
1º Levantamento	-27,8797349	-54,4968498	-27,8790622	-54,4975715
2º Levantamento	-27,8797282	-54,496859	-27,879058	-54,4975413
3º Levantamento	-27,8797987	-54,4967788	-27,8790112	-54,4975483
4º Levantamento	-27,8796918	-54,4968584	-27,8789415	-54,4975498
5º Levantamento	-27,8797809	-54,4967793	-27,8790384	-54,4975254
6º Levantamento	-27,8796983	-54,4968769	-27,8789781	-54,4975973
7º Levantamento	-27,8797156	-54,4969626	-27,8790349	-54,4977253
SEGMENTO 4				
LEVANTAMENTOS	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL
1º Levantamento	-27,8790622	-54,4975715	-27,8783383	-54,4982324
2º Levantamento	-27,879058	-54,4975413	-27,8783328	-54,4982168
3º Levantamento	-27,8790112	-54,4975483	-27,8782805	-54,4983149
4º Levantamento	-27,8789415	-54,4975498	-27,878255	-54,4982974
5º Levantamento	-27,8790384	-54,4975254	-27,8782449	-54,4982764
6º Levantamento	-27,8789781	-54,4975973	-27,8782713	-54,4982975
7º Levantamento	-27,8790349	-54,4977253	-27,8782774	-54,4985117
SEGMENTO 5				
LEVANTAMENTOS	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL
1º Levantamento	-27,8783383	-54,4982324	-27,877612	-54,4989378
2º Levantamento	-27,8783328	-54,4982168	-27,8776308	-54,4989342
3º Levantamento	-27,8782805	-54,4983149	-27,8775048	-54,4989125
4º Levantamento	-27,878255	-54,4982974	-27,8775406	-54,4989736
5º Levantamento	-27,8782449	-54,4982764	-27,8775347	-54,4989635
6º Levantamento	-27,8782713	-54,4982975	-27,8775485	-54,4990037
7º Levantamento	-27,8782774	-54,4985117	-27,8775196	-54,4991242

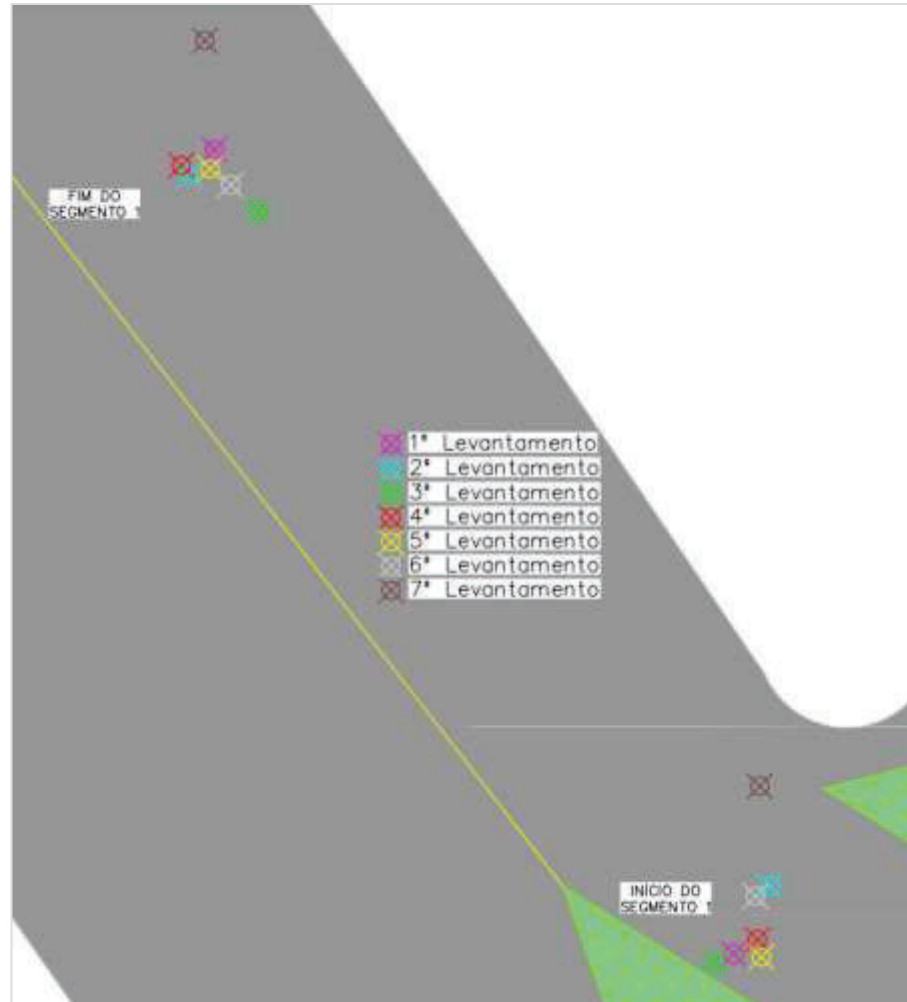
Fonte: SmartIRI – adaptado pelo autor (2022).

Para maior compreensão dos valores de latitude e longitude dos segmentos apresentados no Quadro 20, foi realizado um mapa com os pontos de início e fim de cada segmento.

Nas figuras abaixo seguem os mapas ilustrativos da localização dos pontos iniciais e finais de cada levantamento, conforme a coordenada geográfica registrada pelo aplicativo SmartIRI. Vale ressaltar que os pontos dos mapas abaixo representam

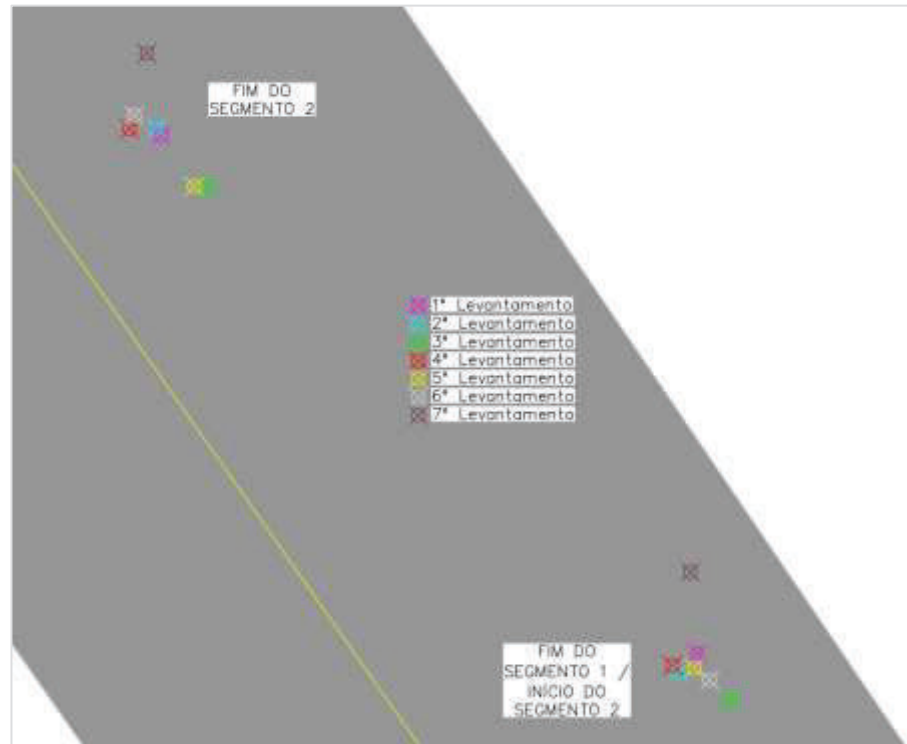
a posição, em coordenadas geográficas, do *smartphone* (fixado no painel do veículo) em relação a rodovia.

Figura 39 - Mapa das coordenadas geográficas do Segmento 1



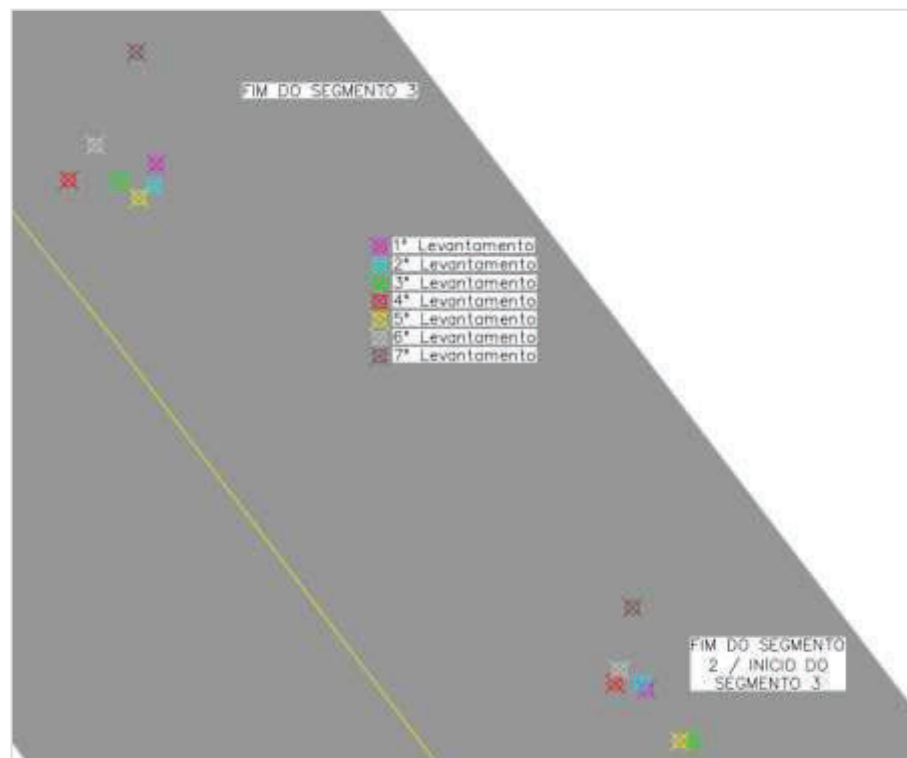
Fonte: Elaboração Própria (2022).

Figura 40 - Mapa das coordenadas geográficas do Segmento 2



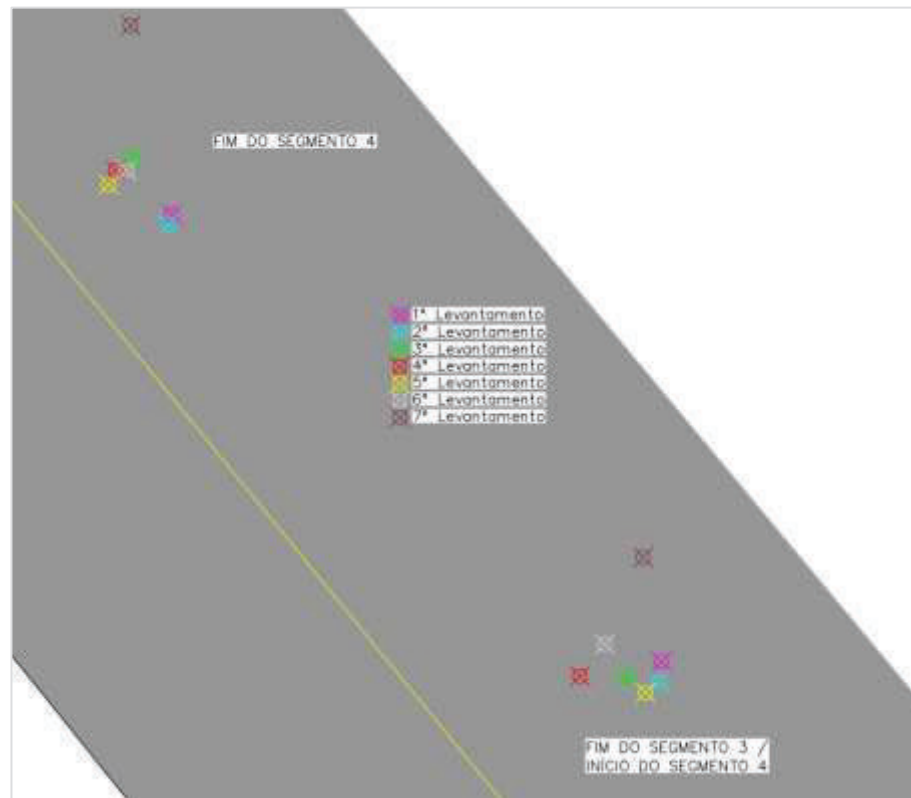
Fonte: Elaboração Própria (2022).

Figura 41 - Mapa das coordenadas geográficas do Segmento 3



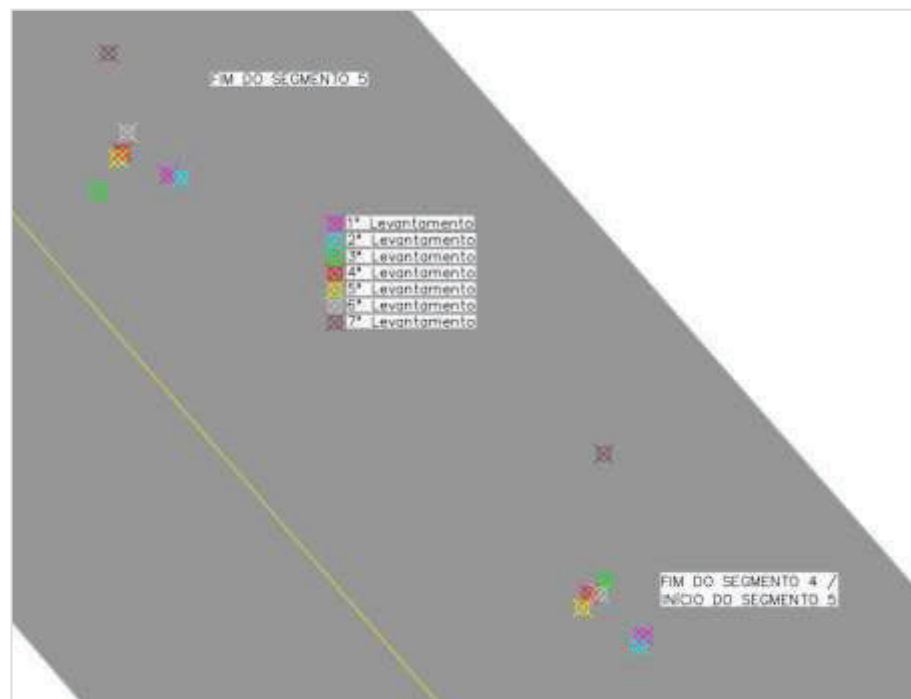
Fonte: Elaboração Própria (2022).

Figura 42 - Mapa das coordenadas geográficas do Segmento 4



Fonte: Elaboração Própria (2022).

Figura 43 - Mapa das coordenadas geográficas do Segmento 5



Fonte: Elaboração Própria (2022).

Como observa-se nos mapas acima, o ponto de início do levantamento, coincidente com o início do segmento 1, é o principal responsável pelos erros acumulados nos demais segmentos. A imprecisão ao iniciar e finalizar o levantamento no aplicativo gerou erros acumulados no decorrer dos segmentos.

Com o auxílio dos mapas acima e analisando o Quadro 1, nota-se que a cada levantamento a distância percorrida para cada segmento varia, sendo mais uma variável nos dados obtidos. Essa variação foi motivada pela distância total do trecho de estudo ser maior que 500 metros, devido a divergência nos pontos de início e fim para cada levantamento.

6.1.4 Defeitos no pavimento

O levantamento dos defeitos da superfície do pavimento foi realizado para cada segmento, a fim de verificar se o aumento dos defeitos seria acompanhado na variação dos valores de IRI. Analisando os valores de IRI de cada segmento e as considerações já realizadas, nota-se que houve variação nos dados de irregularidade longitudinal, porém essa variação não teve um aumento relacionado inteiramente a evolução dos defeitos.

Ao relacionar a evolução dos defeitos e os valores de IRI dos segmentos, admite-se que os defeitos verificados no trecho podem não ter sido considerados ao passar pela trilha de roda, pois houve uma pequena variação nas coordenadas geográficas a cada levantamento.

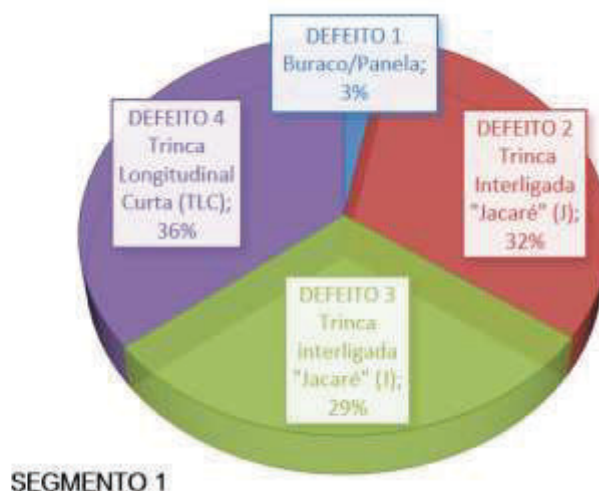
Ainda, presume-se que pode haver uma imprecisão na dimensão dos defeitos, pois, considerando que o fluxo de veículos apagava/desbotava as demarcações da superfície do pavimento, não foi possível marcar o local exato da medição em cada levantamento.

Comparando a variação dos dados obtidos e a evolução dos defeitos, admite-se que o aumento na dimensão dos defeitos tem pouca relação com a variação nos valores de IRI, devido as alterações das variáveis de velocidade média e posição geográfica se tornarem mais representativas.

Nas figuras abaixo será apresentado, de forma gráfica, a evolução da dimensão dos defeitos encontrados em cada segmento.

Figura 44 - Evolução dos defeitos do Segmento 1

TIPO DE DEFEITO	Evolução da área do defeito (%)
DEFEITO 1 Buraco/Panela	2,67%
DEFEITO 2 Trinca Interligada "Jacaré" (J)	27,65%
DEFEITO 3 Trinca interligada "Jacaré" (J)	25,54%
DEFEITO 4 Trinca Longitudinal Curta (TLC)	31,07%

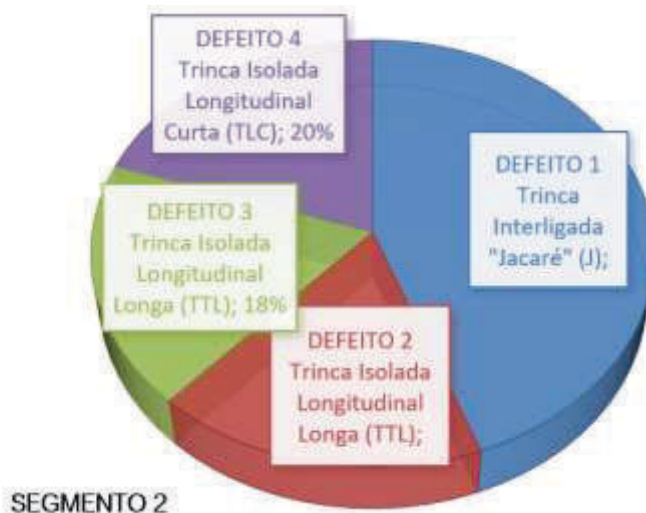


Fonte: Elaboração Própria (2022).

No segmento 1, o defeito 4 – trinca longitudinal curta apresentou uma evolução significativa em sua extensão. Os defeitos do tipo trinca interligada jacaré tem maior recorrência nesse segmento.

Figura 45 - Evolução dos defeitos do Segmento 2

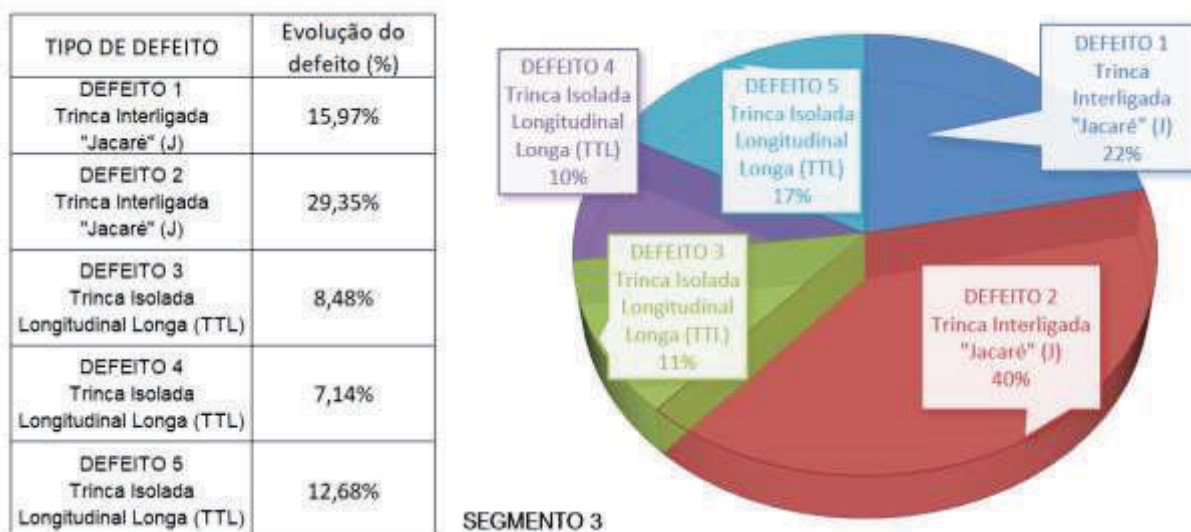
TIPO DE DEFEITO	Evolução do defeito (%)
DEFEITO 1 Trinca Interligada "Jacaré" (J)	16,00%
DEFEITO 2 Trinca Isolada Longitudinal Longa (TTL)	6,31%
DEFEITO 3 Trinca Isolada Longitudinal Longa (TTL)	6,67%
DEFEITO 4 Trinca Isolada Longitudinal Curta (TLC)	7,14%



Fonte: Elaboração Própria (2022).

No segmento 2, o defeito 1 – trinca interligada jacaré apresentou maior evolução em sua extensão, se comparada as demais. Os defeitos do tipo trinca isolada longitudinal longa tem maior recorrência nesse segmento.

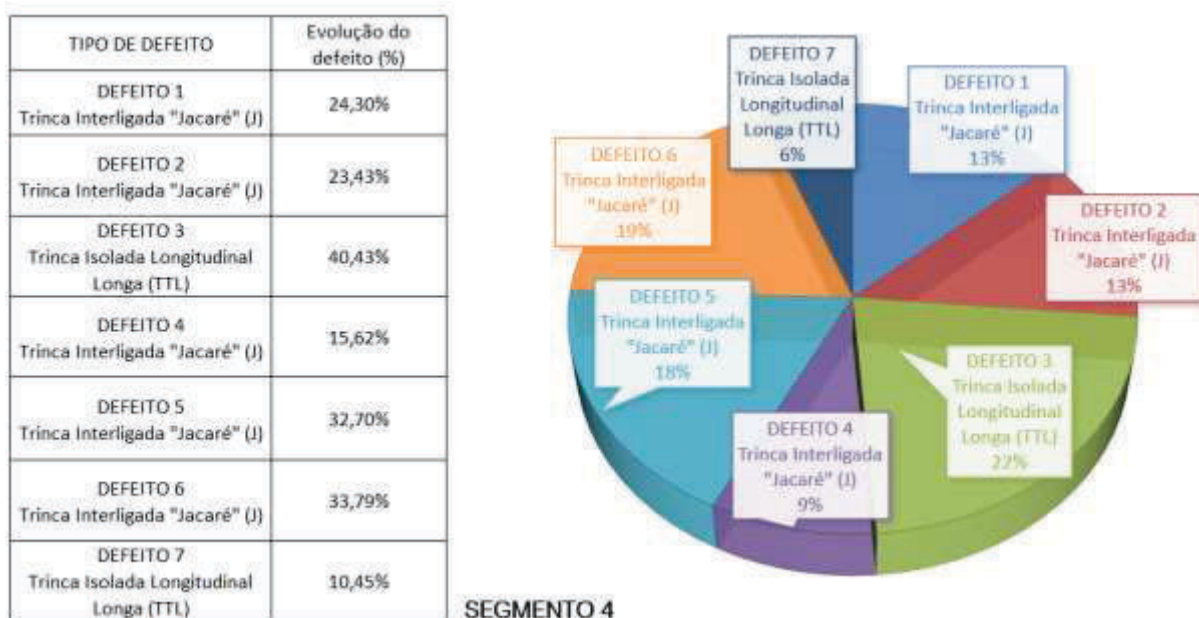
Figura 46 - Evolução dos defeitos do Segmento 3



Fonte: Elaboração Própria (2022).

No segmento 3, o defeito 2 – trinca interligada jacaré apresentou maior evolução em sua extensão, se comparada as demais. Os defeitos do tipo trinca isolada longitudinal longa tem maior recorrência nesse segmento.

Figura 47 - Evolução dos defeitos do Segmento 4

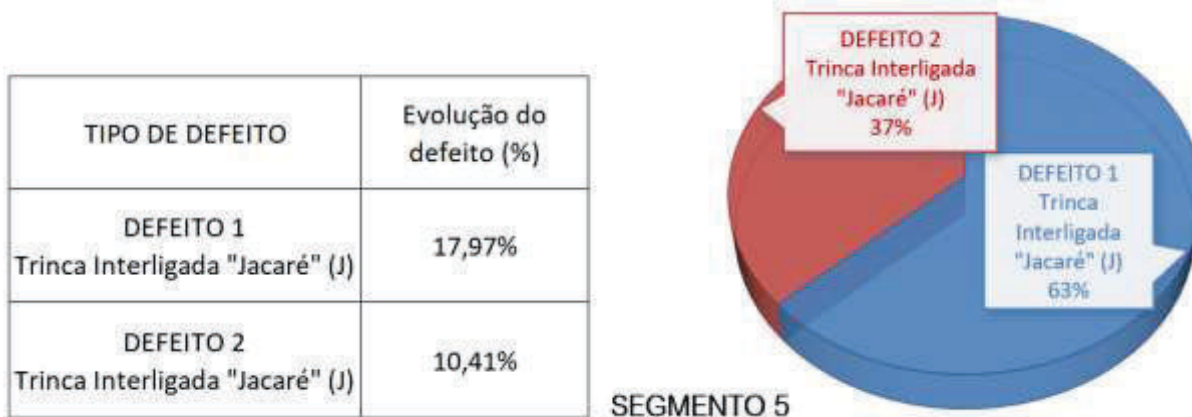


Fonte: Elaboração Própria (2022).

No segmento 4, o defeito 3 – trinca isolada longitudinal longa apresentou maior evolução em sua extensão, se comparada as demais. Além desse, os defeitos 5 e 6 - trinca interligada jacaré, também apresentaram uma evolução significativa em

sua dimensão. Os defeitos do tipo trinca interligada jacaré tem maior recorrência nesse segmento.

Figura 48 - Evolução dos defeitos do Segmento 5



Fonte: Elaboração Própria (2022).

No segmento 5, os dois defeitos encontrados apresentaram evolução significativa em sua extensão e são classificados da mesma forma – trinca interligada jacaré.

O defeito trinca interligada jacaré (J) teve maior recorrência entre os defeitos encontrados no trecho de estudo e, em todos os casos, encontrava-se na trilha de roda, diferente de outros defeitos que ocasionalmente encontravam-se fora da trilha de roda.

6.1.5 Análise do uso do aplicativo SmartIRI para acompanhamento da Irregularidade Longitudinal

Nessa pesquisa, buscou-se compreender as alterações que acontecem nos dados de irregularidade longitudinal de um pavimento, utilizando o aplicativo SmartIRI. Com os dados obtidos e com as análises realizadas, conclui-se que o aplicativo não apresentou uma boa confiabilidade para o acompanhamento das alterações na irregularidade longitudinal ao longo dos meses, pois as variáveis do sistema se tornam imprecisas ao passar mais de uma vez no mesmo trecho.

Apesar do aplicativo não ter apresentado boa repetibilidade dos dados, percebe-se que o nível de conforto dos segmentos manteve-se igual em todos os

levantamentos, o que já era esperado pois o pavimento não sofreria deformação elevada em um período de 6 meses, e indica que o aplicativo traduz, de maneira confiável, o nível de conforto do usuário ao trafegar pelo pavimento.

Conforme citado anteriormente, Gurjão et al. (2020) realizou levantamentos de irregularidade longitudinal, com o aplicativo SmartIRI, ao longo de 8 meses. Em seu estudo, encontrou discrepância entre os dados, com coeficiente de variação chegando a 25%, porém considerou que o aplicativo SmartIRI é válido para o acompanhamento de irregularidade longitudinal, ao longo dos meses, devido ao baixo custo e fácil aplicação.

Considerando as alterações encontradas nos dados de IRI para o trecho de 500 metros, analisa-se que em um trecho maior as variáveis do sistema (velocidade média, coordenadas geográficas, ponto de início e fim do levantamento...) se tornam ainda mais imprecisas.

Ainda, considerando as variações nos dados, compreende-se que é necessário maior cuidado por parte do operador, devido ao *smartphone* ser mais suscetível a influência externa sobre os dados, se comparado a outros equipamentos.

Por fim, recomenda-se o uso do aplicativo SmartIRI para o levantamento de irregularidade longitudinal, pois apresenta, com precisão, a classificação de conforto ao usuário.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das diversas pesquisas realizadas com o uso de *smartphones* para o levantamento das condições de superfície do pavimento, há ainda a necessidade de garantir a confiabilidade desses dados. Na busca por compreender se é possível fazer uma análise temporal, com precisão e exatidão, da irregularidade longitudinal dos pavimentos através de um aplicativo para *smartphone*, foi realizada essa pesquisa.

Com as análises realizadas na pesquisa constatou-se que o aplicativo SmartIRI não apresenta confiabilidade nos dados para o acompanhamento de irregularidade longitudinal dos pavimentos, por outro lado, os dados apontaram uma mesma classificação de conforto de cada segmento, ao longo dos meses, o que demonstra que o aplicativo é válido para ter-se uma concepção da condição de conforto ao usuário.

Dentre as análises e discussões realizadas, conclui-se que:

- a) A obtenção dos valores de IRI com aplicativo para *smartphone* apresenta muitas variáveis e torna o levantamento pouco preciso ao realizá-lo mensalmente;
- b) A variação da velocidade média e discordância entre os pontos de início e fim dos levantamentos provocaram discordância entre os dados obtidos;

Devido as diferentes variáveis encontradas na obtenção dos dados, compreende-se que é necessário padronizar o levantamento de irregularidade longitudinal dos pavimentos com o uso de *smartphones* e realizar mais pesquisa a fim de compreender qual a variável que mais influência na alteração desses dados.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

A seguir serão apresentadas algumas sugestões para pesquisas futuras relacionadas ao acompanhamento da irregularidade longitudinal dos pavimentos com o uso de *smartphone*.

- Utilizar outros modelos de suporte para fixação de smartphone e verificar se há menor influência nos ruídos gerados pela trepidação;
- Realizar o estudo com o aplicativo SmartIRI correlacionando com dados de perfilômetro a laser em um mesmo trecho;
- Realizar o acompanhamento da irregularidade longitudinal ao longo dos meses, utilizando dois *smartphones* de marcas diferentes, para verificar a alteração do dado coletado por acelerômetros diferentes;
- Realizar o estudo com uma quantidade maior de passadas em cada levantamento, aumentando o tamanho da amostra e a confiabilidade dos dados;
- Realizar estudo com um intervalo maior entre os levantamentos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. **Aplicativo para smartphone destinado à medição da irregularidade longitudinal em rodovias**. 2018. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/35669/3/2018_dis_lcalmeida.pdf. Acesso em: 20 jul. 2021.

GURJÃO, N. O.; CHAVES, J. W. R.; ALMEIDA, L. C.; OLIVEIRA, F. H. L. **Monitoramento da irregularidade longitudinal de pavimento rodoviário executado com cinzas volantes**. 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/56426/1/2020_eve_ndeogurjao.pdf. Acesso em: 10 dez. 2021.

BASÍLIO, Rafael. **Análise do comportamento de pavimentos de Rodovias Estaduais de Goiás – Estudo de Caso**, Dissertação de Mestrado – UFSC, Florianópolis-SC, 187 p., 2002.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros, 3ª reimpressão**. Petrobras/Abeda, Rio de Janeiro-RJ, 504 p., 2010.

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.

BISCONSINI, D. R.; LOUREIRO, J.; JÚNIOR, J. L. F. **Análise de fatores relacionados ao uso de smartphones para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos**. Balneário Camboriú, 2019. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Dimensionamento,%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20e%20Gest%C3%A3o%20de%20Pavimentos%20IV/4_257_AC.pdf. Acesso em: 11 dez. 2021

CHAVES, José Wémenson Rabelo et al. **Análise Comparativa da irregularidade longitudinal de pavimento rodoviário em serviço por meio de aplicativos para smartphone**. Fortaleza, 2020. Disponível em:

<https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/10756>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Boletins Técnicos: boletim estatístico**. Brasília-DF: CNT, 2021, 47 p. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 15 mai. 2021.

COELHO JÚNIOR, M. L. P.; ROCHA, P. H. T. **Estudo Preliminar de Misturas Asfálticas à Quente utilizadas em Obras de Pavimentação na Região Metropolitana de Goiânia**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/ESTUDO_PRELIMINAR_DE_MISTURAS_ASF%C3%81LTICAS_%C3%80_QUENTE_UTILIZADAS_EM_OBRAS_DE_PAVIMENTA%C3%87%C3%83O_NA_REGI%C3%83O_METROPOLITANA_DE_GOI%C3%82NIA.pdf. Acesso em: 17 jul. 2021.

DAER - DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Volume Diário Médio de Rodovias**. 2017. Disponível em: <https://www.daer.rs.gov.br/vdm-de-rodovias>. Acesso em: 18 jan. 2022.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Rio de Janeiro: DNER, 1999. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/706_manual_de_projeto_geometrico.pdf. Acesso em: 15 nov. 2021.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação**. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ., 719).

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Gerência de Pavimentos**. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 2011.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 005-PRO: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos - Terminologia**. Rio de Janeiro, IPR 2003a, 12 p.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 007-PRO: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos - Terminologia**. Rio de Janeiro, IPR 2003b, 11 p.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 009-PRO: avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos: procedimento**. Rio de Janeiro, IPR, 2003c, 6 p.

DUARTE, Raimundo I. M. **Análise comparativa da irregularidade longitudinal por faixas de tráfego na rodovia CE-401 obtida por aplicativo para smartphones**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018, 70 p. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/40629/1/2018_tcc_rimduarte.pdf. Acesso em: 15 jul. 2021.

FERRARI, Fernanda do Amaral. **Avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com uso de perfilômetro inercial a laser e smartphone**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2021, 85 p.

GIL, Antonio C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-27.8822879,-54.4889494,15z>. Acesso em: 2 ago. 2021.

LIRA, Ellen S. A. B. **Análise da irregularidade longitudinal por faixas de tráfego através de aplicativo para smartphone**. 57 f. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2020.

LIXINSKI, Emilly F. **Análise Comparativa entre dados medidos de Irregularidade Longitudinal e Transversal na rodovia BR-290/RS e valores previstos por modelos de desempenho**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017, 183 p. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/169763>. Acesso em: 21 jun. 2021

OLIVEIRA, Rafael Albuquerque de. **Monitoramento da Qualidade de Rolamento Com Dados de Smartphones**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

PRESTES, Marilez P. **Método de avaliação visual de pavimentos flexíveis – Um Estudo Comparativo**. 106 f. 2001. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – UFRGS, 2001. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2304/000317458.pdf?sequence=1>. Acesso em: 21 fev. 2022

REZENDE, Deodoro Barbosa de. **Análise da evolução de defeitos no pavimento asfáltico em quatro trechos de rodovias federais no Estado de MS: Estudo de Caso**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Operações Rodoviárias) – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasília, 2017, 102 p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/177976>. Acesso em: 21 jun. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 12.504, de 23 de maio de 2006**. Dá nome à Rodovia RS-344 em toda a sua extensão. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/12.504.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2021.

SETIAWANA Eko B.; NURDINA, Hadi. **Road Quality Assessment Using International Roughness Index Method and Accelerometer on Android.** Lontar Komputer, 2019.

YEGANEH, S. F.; MAHMOUDZADEH, A.; AZIZPOUR, M. A.; GOLROO, A. **Validation of Smartphone-Based Pavement Roughness Measures.** 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1902.10699>. Acesso em: 15 dez. 2021.

ANEXO I
REGISTROS FOTOGRÁFICOS

SEGMENTO 1

DEFEITO 1 – BURACO/PANELA



SEGMENTO 1

DEFEITO 2 – TRINCA INTERLIGADA "JACARÉ" (J)



SEGMENTO 1

DEFEITO 3 – TRINCA INTERLIGADA "JACARÉ" (J)



SEGMENTO 1

DEFEITO 4 – TRINCA LONGITUDINAL CURTA (TLC)

