



CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS - UNICHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ELLEN SARA AGUIAR BASTOS LIRA

ANÁLISE DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL POR FAIXAS DE TRÁFEGO
ATRAVÉS DE APLICATIVO PARA *SMARTPHONE*

ELLEN SARA AGUIAR BASTOS LIRA

ANÁLISE DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL POR FAIXAS DE TRÁFEGO
ATRAVÉS DE APLICATIVO PARA *SMARTPHONE*

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Lucas Cavalcante de
Almeida

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Centro Universitário Christus - Unichristus

Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L768a Lira, Ellen Sara Aguiar Bastos.

Análise da irregularidade longitudinal por faixas de tráfego através de aplicativo para smartphone / Ellen Sara Aguiar Bastos Lira. - 2020.

57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Me. Lucas Cavalcante de Almeida.

1. Irregularidade longitudinal. 2. Avaliação funcional. 3. SmartIRI. I. Título.

CDD 624

ELLEN SARA AGUIAR BASTOS LIRA

ANÁLISE DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL POR FAIXAS DE TRÁFEGO
ATRAVÉS DE APLICATIVOS PARA *SMARTPHONE*

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

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

Profa. Ma. Marisa Teófilo Leitão
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Me. Fernando Dácio de Almeida
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Deus, por ter me dado forças e garra para enfrentar o desafio que é entrar em uma universidade.

À minha família pelo incentivo e apoio. Especialmente, minha mãe, Verônica Aguiar, que sempre me apoiou nos momentos difíceis durante o período de graduação.

Ao professor, Lucas Cavalcante, que além de orientador, foi um incentivador e motivador para essa nova fase da minha vida. Obrigada pelo apoio, paciência, dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho.

À professora, Marisa Teófilo, que felizmente tive a chance de conhece-la no último semestre e que foi de muita importância durante esse processo.

Ao professor, Fernando Dácio, por ter feito considerações relevantes para agregar mais ainda este trabalho.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram durante esse período e que, de alguma forma, ajudaram a alcançar o objetivo final. OBRIGADA!

RESUMO

A irregularidade longitudinal é um dos parâmetros mais utilizados na avaliação funcional de pavimentos. Este parâmetro, quando elevado, prejudica a dinâmica dos veículos, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via. Vários instrumentos, como aplicativos para smartphones, têm sido desenvolvidos ao longo de três anos para auxiliar os órgãos gestores na coleta de dados com precisão, baixo custo de aquisição e fácil operação, podendo ser utilizados como uma alternativa aos métodos tradicionais de avaliação da qualidade funcional dos pavimentos. Neste estudo foi utilizado o aplicativo SmartIRI, desenvolvido na Universidade Federal do Ceará – UFC, para uma análise da qualidade funcional do pavimento flexível em todas as faixas de tráfego da Avenida Senador Carlos Jereissati, em uma extensão de 4,1 km, e comparação de dados coletados nos anos de 2018, 2019 e 2020. A análise dos dados comprovou que houve uma melhora na condição de rolamento no último ano, possivelmente, devido às atividades de manutenção, o que contribuiu para um decréscimo da irregularidade longitudinal.

Palavras-chave: Irregularidade longitudinal. Avaliação funcional. SmartIRI.

ABSTRACT

Longitudinal roughness is one of the most used parameters in the functional evaluation of pavements. This parameter when elevated, impairs the vehicles dynamics, the dynamic effect of load distribution, the bearing quality and the superficial drainage of the street. Various instruments, such as smartphone applications, have been developed over three years to assist management bodies in collecting data with precision, low acquisition cost and easy operation, which can be used as an alternative to the more traditional evaluation methods of a pavement's functional quality. In this study the app SmartIRI, developed by the Federal University of Ceará – UFC was used to analyze the functional quality of the pavement on the six lane avenue of "Senador Carlos Jereissati" along an extension of 4,1 kilometers, and compare the data collected in the years of 2018, 2019 and 2020. Data analysis proves that there was an improvement in the rolling condition in the last year of collection, possibly due to maintenance activities, which contributes to a reduction in longitudinal roughness.

Keywords: Longitudinal Roughness; Functional evaluation; SmartIRI.

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HDM	<i>Highway Development and Management</i>
IGG	Índice de Gravidade Global
IRI	<i>International Roughness Index</i>
MERLIN	<i>Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation</i>
PSR	<i>Present Serviceability Ratio</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RTRRMS	<i>Response-Type Road Roughness Measurement Systems</i>
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
UFC	Universidade Federal do Ceará
VMDa	Volume Médio Diário Anual
VSA	Valor de Serventia Atual

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Deformação elástica pela carga no pavimento flexível.	14
Figura 2 – Esquema de seção transversal do pavimento flexível.....	15
Figura 3 – Diferentes níveis de irregularidades	17
Figura 4 – Interação entre os defeitos em rodovias pavimentadas	18
Figura 5 – Microtextura, macrotextura e megatextura na superfície de um revestimento asfáltico.....	23
Figura 6 – <i>Dipstick</i>	26
Figura 7 – Esquema do método Nível e Mira	26
Figura 8 – Perfilômetro inercial.....	27
Figura 9 – Funcionamento do Perfilômetro inercial	28
Figura 10 – <i>MERLIN</i>	29
Figura 11 – Classificação dos <i>smartphones</i> em relação aos demais equipamentos de medição de irregularidade longitudinal	30
Figura 12 – Página inicial do SmartIRI	31
Figura 13 – Suporte e posição que o aparelho deve ficar durante a avaliação	31
Figura 14 – Resultado do arquivo de medição gerado pelo SmartIRI	32
Figura 15 – Fluxograma dos componentes de um SGP.....	34
Figura 16 – Av. Senador Carlos Jereissati	35
Figura 17 – Configuração da via	36
Figura 18 – Trecho com extensão de 4,1 km	37
Figura 19 – Fluxograma	38
Figura 20 – <i>BoxPlot</i> das faixas de tráfego do Sentido 1.....	48
Figura 21 – <i>Boxplot</i> das faixas de tráfego do Sentido 2	48
Figura 22 – Registro fotográfico do Sentido 1	49
Figura 23 – Registro fotográfico do Sentido 2	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo HDM-4 e DNIT (2011)	17
Tabela 2 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG	19
Tabela 3 – Dimensões de textura para um pavimento	22
Tabela 4 – Níveis de serventia	24
Tabela 5 – Classificação proposta pelo SmartIRI.....	33
Tabela 6 – VMDa da Rodovia CE-401	36
Tabela 7 – Médias do IRI no Sentido 1 nos anos de 2018, 2019 e 2020	44
Tabela 8 – Médias do IRI no Sentido 2 nos anos de 2018 e 2019	45
Tabela 9 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos anos de 2018,2019 e 2020	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definições de camadas do pavimento.....	15
Quadro 2 – Tipologia das trincas.....	20
Quadro 3 – Tipologia dos afundamentos	20
Quadro 4 – Definição dos defeitos	21
Quadro 5 – Classificação de equipamentos ou métodos	25
Quadro 6 – Variação do IRI por ano para as faixas do Sentido 1	43
Quadro 7 – Variação do IRI por ano para as faixas do Sentido 2	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Dados de 2018 no Sentido 1 (BR - Montese)	39
Gráfico 2 – Dados de 2019 no Sentido 1 (BR - Montese)	40
Gráfico 3 – Dados de 2020 no Sentido 1 (BR - Montese)	41
Gráfico 4 – Dados de 2018 no Sentido 2 (Montese - BR)	41
Gráfico 5 – Dados de 2019 no Sentido 2 (Montese - BR)	42
Gráfico 6 – Médias das faixas do Sentido 1	45
Gráfico 7 – Médias das faixas do Sentido 2	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	11
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i>	<i>12</i>
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>12</i>
1.2	Estrutura do Trabalho	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Pavimentos Flexíveis	13
2.2	Irregularidade Longitudinal	16
2.3	Defeitos da superfície	19
2.3.1	<i>Demais defeitos.....</i>	<i>21</i>
2.4	Textura do pavimento	22
2.5	Equipamentos medidores da Irregularidade Longitudinal	24
2.5.1	<i>Exemplificação de equipamentos medidores de IRI</i>	<i>25</i>
2.5.1.1	<i>Dipstick</i>	<i>25</i>
2.5.1.2	<i>Nível e Mira.....</i>	<i>26</i>
2.5.1.3	<i>Perfilômetro inercial</i>	<i>27</i>
2.5.1.4	<i>MERLIN</i>	<i>28</i>
2.6	Novas tecnologias para a estimação da Irregularidade Longitudinal	29
2.6.1	<i>SmartIRI</i>	<i>31</i>
2.7	Sistema de Gerência de Pavimentos	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1	Localização do trecho analisado em estudo	35
3.2	Levantamento de dados.....	37
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	39
4.1	Análise estatística descritiva.....	44
4.2	Análise dos defeitos verificados no trecho	49
5	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico de um país está significativamente relacionado com a modernização dos modos de transporte de cargas e de passageiros. No Brasil, os modos de transportes utilizados são rodoviários, aéreos, ferroviários, aquaviários e o dutoviário. Porém, o rodoviário é o mais utilizado no território nacional, por conta da sua acessibilidade, flexibilidade e comodidade quando comparado aos outros.

Além disso, ele é de grande importância para a economia do país devido à sua relevância para o desenvolvimento das cadeias produtivas e para o deslocamento da população. A falta de investimento nesse setor impacta não apenas na segurança e conforto dos condutores e passageiros, como também, no desgaste dos veículos, tempo de viagem, entre outros.

De acordo com a CNT – Confederação Nacional do Transporte (2019), mais de 61% do transporte de cargas e mais de 95% dos deslocamentos de passageiros do Brasil são feitos por rodovias, possuindo assim, a necessidade de uma atenção maior a respeito dos fundos de investimentos para esse setor. Há, no país, 213.453 km de rodovias pavimentadas e 1.349.938 km de rodovias não pavimentadas, que correspondem, respectivamente, a 12,4% e 78,5% da extensão total.

Um planejamento inadequado e um projeto mal executado acarretam graves problemas para o andamento de uma obra de engenharia. Para Bernucci *et al.* (2010), o objetivo principal da pavimentação é garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e condições climáticas, e proporcionar aos usuários conforto ao rolamento e segurança.

A densidade da malha rodoviária pavimentada no Brasil, quando comparada com países mais desenvolvidos, ainda é muito reduzida, apesar da tentativa dos órgãos públicos de ampliação da extensão. Além disso, a ausência de investimentos na manutenção e na conservação das rodovias influencia cada vez mais para a degradação do pavimento.

De acordo com a Pesquisa CNT (2019), foram avaliados 108.863 km de rodovias pavimentadas, desse total, 52,4% foram identificados com problemas nos pavimentos, sendo que 35% encontram-se regular; 13,7%, ruim e 3,7%, péssimo. Em relação a condição da superfície do pavimento, há problemas em 75% do total avaliado, sendo identificado desgaste em 47,1%; trinca em malha ou remendo em 22,9%; afundamentos, ondulações ou buracos em 5%; e 0,9% está totalmente

destruído. Essa extensão engloba rodovias federais e trechos estaduais considerados estratégicos para o transporte de cargas e deslocamentos de passageiros pelo território nacional.

Desse modo, sabe-se que, na visão técnica, uma obra de engenharia deve cumprir com as demandas estruturais e funcionais, levando em consideração também, os aspectos econômicos. Entretanto, na visão do condutor ou do passageiro, o estado superficial do pavimento é o mais perceptível, por conta das irregularidades longitudinais do pavimento, que por consequência, acaba prejudicando o conforto.

A irregularidade longitudinal é um dos métodos de avaliação da qualidade do pavimento bastante utilizado. Conforme explica Bernucci *et al.* (2010), seu conceito equivale ao somatório dos desvios existentes na superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico.

Para a determinação da irregularidade pode-se utilizar medidores como *Bump Integrator*, *Maysmeter*, ou perfilômetro a *laser*. Esses medidores são usados para a determinação do IRI – *International Roughness Index* (Índice de Irregularidade Internacional – IRI), parâmetro que avalia a irregularidade longitudinal.

O avanço tecnológico está conquistando espaço em várias modalidades da engenharia, inclusive, no setor rodoviário. O uso de aplicativos para *smartphones* facilita as suas atividades rotineiras, por exemplo, na avaliação funcional dos pavimentos. Na avaliação funcional, os aplicativos além de econômicos e de fácil operação, são relativamente mais rápidos na coleta de dados, quando comparados a outros métodos de avaliação.

Nesse trabalho, utilizou-se o aplicativo SmartIRI desenvolvido na Universidade Federal do Ceará (UFC) por Almeida (2018), para obtenção de dados de irregularidade longitudinal por faixas de tráfego para análise e comparação de resultados dos anos de 2018, 2019 e 2020.

1.1 Objetivos

Nesse item serão determinados o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa.

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento da irregularidade longitudinal ao longo de três anos das seis faixas de tráfego das duas pistas de rolamento da Avenida Senador Carlos Jereissati, na Rodovia CE-401.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Coletar e analisar os dados de irregularidade longitudinal do pavimento por meio do aplicativo SmartIRI;
- Identificar a variação do IRI por meio de análise estatística;
- Comparar os dados obtidos nos anos de 2019 e 2020 com os dados coletados por Duarte (2018) através do SmartIRI no mesmo trecho em pesquisa.

1.2 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos. No Capítulo 1, é abordado sobre a influência do modo de transporte rodoviário na economia do Brasil e informações básicas sobre a influência de um investimento para o setor rodoviário. Juntamente com a justificativa da escolha da temática, o objetivo geral e os objetivos específicos e estrutura deste trabalho.

No Capítulo 2, é apresentado uma revisão bibliográfica, por intermédio de artigos, teses, dissertações e livros que abordam os conceitos, definições e metodologias. No Capítulo 3, é exposto como foi realizado a metodologia na produção do trabalho.

No Capítulo 4, aliado ao Capítulo 3, é exibido o estudo de caso para a Avenida Senador Carlos Jereissati onde descreve a realização de um levantamento de dados de IRI, análise comparativa de dados com anos anteriores e discussão de seus resultados. Por fim, no Capítulo 5 serão realizadas as considerações finais, além de sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo apresenta um levantamento bibliográfico sobre assuntos envolvidos na temática abordada nesta pesquisa onde serão dissertados tópicos sobre definição de pavimentos flexíveis, conceituar irregularidade longitudinal, definição de defeitos existentes em pavimentos flexíveis, textura do pavimento, equipamentos medidores de irregularidade, e novas tecnologias utilizadas para coleta de dados, além de uma abordagem sobre gerência de pavimentos.

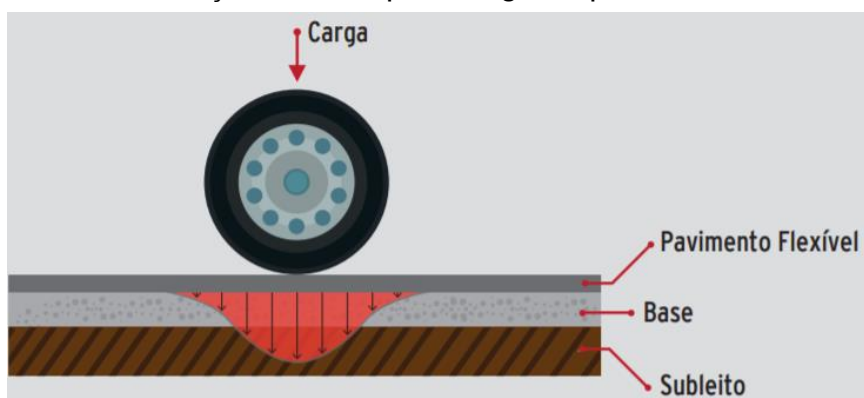
2.1 Pavimentos Flexíveis

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Os pavimentos são classificados em pavimentos flexíveis, pavimentos semi-rígidos e pavimentos rígidos, porém, nesse estudo foi dado ênfase aos pavimentos flexíveis. Segundo Ribeiro (2017), pavimento flexível é aquele que sempre comporta um revestimento betuminoso, cujos materiais utilizados são o asfalto, que forma a camada de revestimento, um material granular, que compõe a base, e outro material granular ou o próprio solo natural que forma a sub-base.

De acordo com DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006b), os pavimentos flexíveis são aqueles 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, como mostra na Figura 1.

Figura 1 – Deformação elástica pela carga no pavimento flexível.



Fonte: CNT, 2017.

A deformação elástica acontece quando o pavimento se submete à uma carga onde há a transferência de tensões para outras camadas existentes no pavimento. Segundo Silva (2014), a passagem de um veículo sobre um terreno (subleito) induz tensões no interior da massa de solo devido à transferência do seu peso pelas rodas, provocando deformações que acabam tornando a superfície irregular, e até mesmo imprópria para o tráfego de veículos.

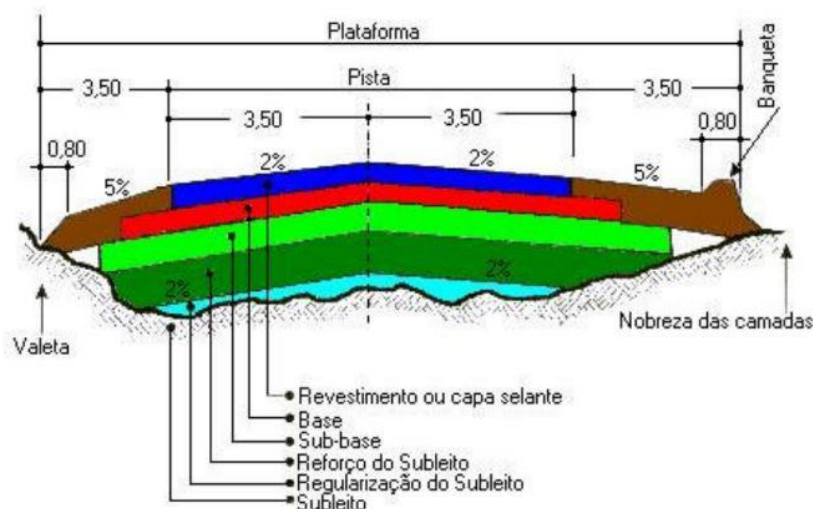
Segundo Pinto (2003), esse tipo de pavimento exige normalmente grandes espessuras, devido ao uso de materiais deformáveis e aplicação de altas cargas ou até por causa do uso de materiais de qualidade duvidosa. Assim, tais espessuras garantem que a tensão no solo de fundação (subleito) não ultrapasse valores menores que a sua resistência.

Conforme DNIT (2006b), o pavimento flexível é uma estrutura construída após a terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente em seu conjunto, a:

- resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego;
- melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e conforto;
- resistir aos esforços horizontais (desgastes), tornando mais durável a superfície de rolamento.

A Figura 2 mostra o esquema da seção transversal de um pavimento flexível. Logo após, a partir de informações obtidas por Marques (2006), são expostas, no Quadro 1, definições de cada camada existente na estrutura de um pavimento flexível.

Figura 2 – Esquema de seção transversal do pavimento flexível



Fonte: Marques, 2006.

Quadro 1 – Definições de camadas do pavimento

Camadas	Definições
Sub-leito	Terreno onde será apoiado todo o pavimento. Profundidade de 0,60 m a 1,5 m. $2\% \leq \text{CBR} \leq 20$.
Regularização do Sub-leito	Operação destinada a conformar o leito, transversal e longitudinalmente. Poderá ou não existir, dependendo das condições do leito. Cortes ou aterros até 20 cm de espessura.
Reforço do Sub-leito	Camada granular de pavimentação executada sobre o sub-leito devidamente compactado e regularizado. Serve para melhorar a qualidade do sub-leito e regularizar a espessura da sub-base.
Sub-base	Camada complementar à base. Usada quando não for aconselhável executar a base diretamente sobre o leito. Pode ser usado para regularizar a espessura da base. $\text{CBR} = 20\%$.
Base	Camada destinada a resistir e distribuir ao sub-leito, os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se construirá o revestimento. $\text{CBR} \geq 80\%$.
Revestimento	Camada que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos. Deve ser resistente ao desgaste. Também chamada de capa ou camada de desgaste.

Fonte: Adaptado de Marques, 2006.

2.2 Irregularidade Longitudinal

A irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico, que afeta a dinâmica dos veículos, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via (DNIT, 2011).

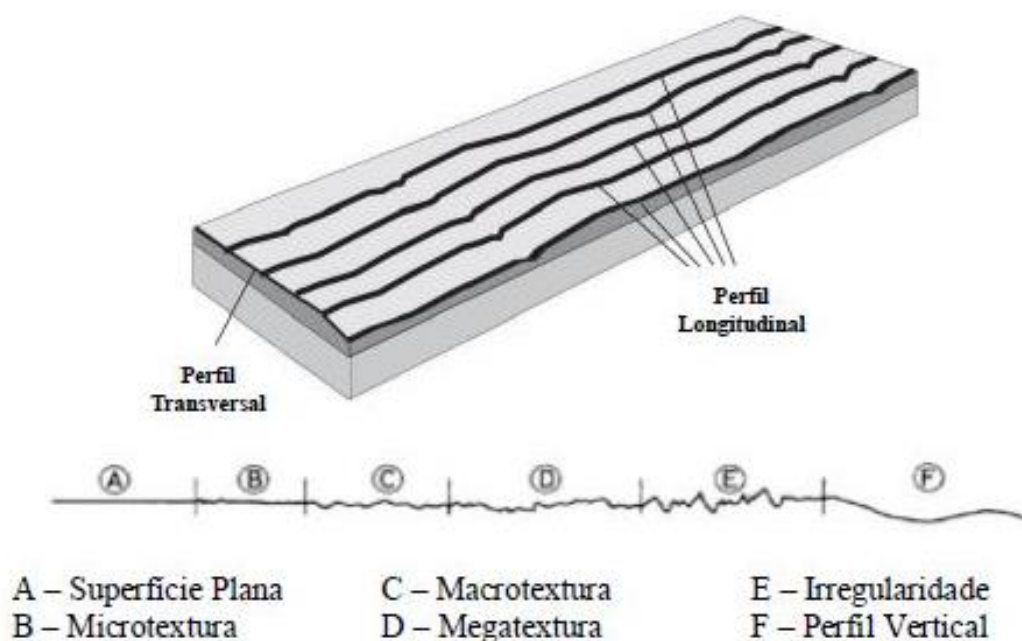
De acordo com Bernucci *et al.* (2010), o IRI – *International Roughness Index* (Índice de Irregularidade Internacional – IRI) é um índice estatístico, comumente expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto, e tem sido utilizado como ferramenta de controle de obras e aceitação de serviços em alguns países.

A irregularidade em um pavimento pode surgir através de problemas construtivos ou por defeitos causados pela ação do tráfego e/ou do clima, especialmente as deformações permanentes do revestimento e subleito. (BISCONSINI, 2016). Segundo DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (2000), a irregularidade não se define como um defeito da superfície, mas sim como um parâmetro que representa os efeitos que o conjunto de defeitos de um pavimento provoca na condição do rolamento, da dinâmica dos veículos e da ação dinâmica das cargas sobre a via.

Conforme Bernucci *et al.* (2010), o veículo também sofre mais intensamente as consequências desses defeitos quando o conforto é prejudicado. O efeito da passagem dos veículos nos pavimentos no decorrer do tempo também provoca alterações que deterioram seu estado de superfície e causam desconfortos crescentes aos usuários.

A irregularidade longitudinal, comumente medida pelo IRI, apresenta várias particularidades, dentre elas pode-se destacar que, a partir de um valor inicial, a função do processo construtivo, a irregularidade passa a assumir valores crescentes com decorrência da ação do tráfego, do clima e de outros fatores de deterioração (ALMEIDA, 2018). A Figura 3 mostra os diferentes níveis de irregularidades do pavimento.

Figura 3 – Diferentes níveis de irregularidades



Fonte: Adaptado de Douangphachanh, 2014.

Segundo DNIT (2006a), a irregularidade pode ser medida em diversas escalas padronizadas e de conformidade com o equipamento de medição utilizado. Em DNIT (2011), o sistema HDM-4 – *Highway Development and Management* permite a análise econômica de uma rodovia e identifica as variáveis mais importantes da rodovia como revestimento, a irregularidade, volume médio diário de tráfego, entre outros. A Tabela 1 apresenta o comparativo entre HDM-4 e DNIT (2011) em relação ao IRI em m/km.

Tabela 1 – Comparativo HDM-4 e DNIT (2011)

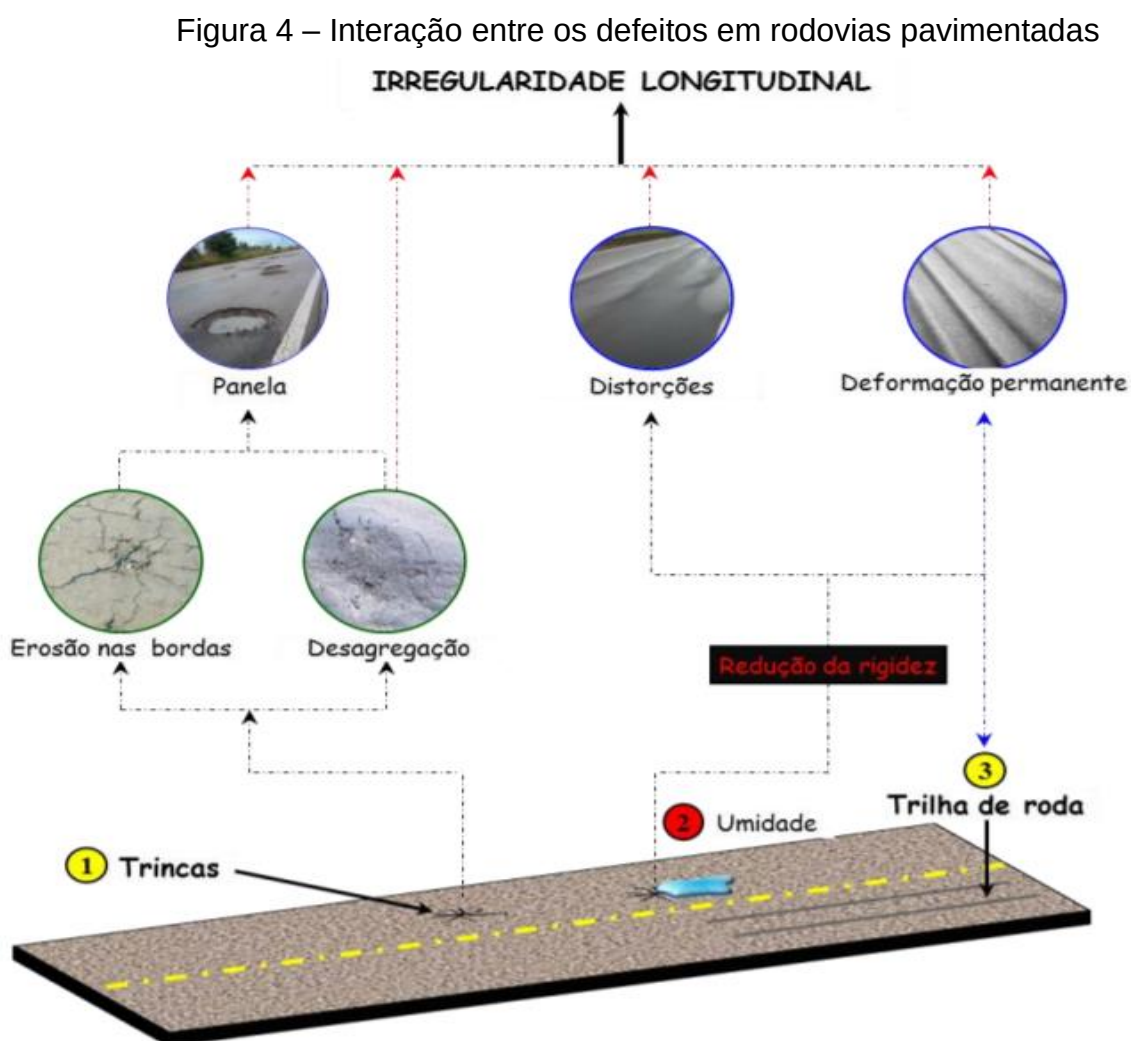
Condições de Trafegabilidade	Irregularidade	
	HDM - 4 (m/km)	(DNIT, 2011) (m/km)
Boa	$IRI \leq 2$	$IRI \leq 2,7$
Regular	$2 < IRI \leq 4$	$2,7 < IRI \leq 3,5$
Ruim	$4 \leq IRI \leq 6$	$3,5 < IRI \leq 5,5$
Péssimo	$6 < IRI$	$5,5 < IRI$

Fonte: Almeida, 2018.

Conforme Karamihas e Sayers (1998), a maioria das respostas dos veículos está relacionado ao IRI. Existem três tipos de variáveis de repostas de veículos que possui correlação com o IRI: a medida da resposta dos veículos às condições do pavimento, a aceleração vertical do passageiro e a carga imposta aos pneus.

Segundo Zhao e Nagayama (2017), o IRI é estimado medindo respostas de aceleração de veículos comuns. A aceleração medida é convertida por meio de valores Root Mean Square (Raiz da Média Quadrática – RMS). O RMS é posteriormente convertido em IRI.

A avaliação do IRI em conjunto com os levantamentos de defeitos da superfície são os mais apropriados para definição da condição funcional do pavimento (DNIT, 2011). A Figura 4 ilustra a contribuição negativa de cada defeito no aumento da irregularidade longitudinal.



Fonte: Almeida, 2018.

2.3 Defeitos da superfície

Os defeitos são aqueles provenientes do processo de deterioração causados por fatores como tráfego, clima, processos construtivos e características físicas dos materiais. Estes fatores podem atuar separados ou concomitantemente (DANIELESKI, 2004).

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).

Segundo DNIT (2003a), a terminologia dos defeitos e os que são considerados para cálculo de indicador de qualidade da superfície do pavimento, comumente expresso pelo Índice de Gravidade Global – IGG, são: fendas (F); afundamentos (A); corrugação e ondulações transversais (O); exsudação (EX); desgaste ou desagregação (D); panela ou buraco (P); e remendos (R).

Conforme DNIT (2003b), a avaliação objetiva, realizada como complemento para avaliações de severidade e estruturais dos pavimentos, determina o IGG, que permite classificar o estado de um pavimento através da incidência de defeitos da superfície, atribuindo-lhe conceitos segundo a Tabela 2.

Tabela 2 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG

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

Fonte: DNIT, 2003b.

A seguir serão discutidas as terminologias e classificações dos defeitos.

Define-se como fendas qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas (DNIT, 2003a). De acordo com Bernucci *et al.* (2010), as fendas podem ser

classificadas como fissuras, quando a abertura é perceptível a olho nu apenas à distância inferior a 1,5 m, ou como trincas, quando a abertura é superior à da fissura. Ainda de acordo com os outros autores, as fendas representam um dos defeitos mais significativos dos pavimentos asfálticos e são subdivididas dependendo da tipologia e da gravidade de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 – Tipologia das trincas

Tipologia	
Trincas Isoladas	Trincas Interligadas
Trincas Transversais Curtas (TTC)	Trincas de Bloco (TB)
Trincas Transversais Longas (TTL)	Trincas de Bloco com Erosão (TBE)
Trincas Longitudinais Curtas (TLC)	Trincas tipo “Couro de Jacaré” (J)
Trincas Longitudinais Longas (TLL)	Trincas tipo “Couro de Jacaré” com Erosão (JE)
Trincas de Retração (TRR)	–

Fonte: Adaptado de Bernucci *et al.*, 2010.

Afundamento é uma 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). O Quadro 3 mostra a tipologia dos afundamentos.

Quadro 3 – Tipologia dos afundamentos

Tipologia	
Afundamentos	Afundamento por consolidação (AC)
	Afundamento local por consolidação (ALC)
	Afundamento de consolidação em trilha de roda (ATC)
	Afundamento Plásticos (AP)
	Afundamento Plásticos em trilha de roda (AP)
	Afundamento Local Plásticos (ALP)

Fonte: Adaptado de Bernucci *et al.*, 2010.

As corrugações (O) são deformações transversais ao eixo da pista, em geral compensatórias, com depressões intercaladas de elevações, com comprimento de onda entre duas cristas de alguns centímetros ou dezenas de centímetros. (BERNUCCI *et al.*, 2010).

As ondulações (O) são também deformações transversais ao eixo da pista, em geral decorrentes da consolidação diferencial do subleito, diferenciadas da corrugação pelo comprimento de onda entre duas cristas da ordem de metros (BERNUCCI *et al.*, 2010).

2.3.1 Demais defeitos

Este item contempla os conceitos de outros defeitos como mostra o Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 – Definição dos defeitos

Defeito	Definição
Escorregamento	Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua (DNIT, 2003a).
Exsudação	Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, usualmente na trilha de roda. Pode-se apresentar como um asfalto com alteração de sua coloração normal ou perde de sua textura comum (MACHADO, 2013).
Desgaste do pavimento	Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego (DNIT, 2003a).
Panela ou buraco	Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas (DNIT, 2003a).
Falha de bico	Muitas vezes causado pela falta de ligante asfáltico provocando uma deficiência de cobertura e envolvimento dos agregados e seus consequentes desprendimento pela ação do tráfego também ocasionado por falta da calibração dos bicos (DNIT, 2006a).
Remendo	Exemplo de defeito, apesar de estar relacionado a uma conservação da superfície, que se caracteriza pelo preenchimento de painéis ou de qualquer outro orifício ou depressão com massa asfáltica (BERNUCCI <i>et al.</i> , 2010).

Fonte: Adaptado de DNIT (2003a), DNIT (2006a), Machado (2013) e Bernucci *et al.* (2010).

2.4 Textura do pavimento

A aderência na interface pneu-pavimento é o que certifica a segurança do usuário para frear, acelerar e fazer manobras, porém, a construção de um pavimento que possibilite a máxima aderência entre o pneu e o pavimento, pode caracterizar um pavimento excessivamente abrasivo, que venha produzir ruídos desagradáveis, elevando também o custo operacional do veículo fomentado pelo desgaste dos pneus ou mesmo um consumo de combustível mais elevado, ainda pode levar à uma deterioração precoce do pavimento (MOMM, 1988 *apud* PEDER, 2017).

Para análise da influência da textura superficial de um pavimento existem três classificações para melhor definir o estado de aderência dos pavimentos: microtextura, macrotextura e megatextura. Segundo Pereira (2010), a textura de um pavimento é determinada pelas suas irregularidades superficiais, que vão desde os mais finos detalhes da microtextura, passando pelas particularidades da macrotextura, até às maiores ondulações da megatextura.

A Tabela 3 mostra os intervalos entre as dimensões de textura para um pavimento de acordo com as três classificações de textura e uma de irregularidade longitudinal.

Tabela 3 – Dimensões de textura para um pavimento

Designação	Intervalo de dimensões	
	Comprimentos de onda (horizontal)	Amplitudes (vertical)
Microtextura	0,0 – 0,5 mm	0,0 – 0,2 mm
Macrotextura	0,5 – 50 mm	0,2 – 10 mm
Megatextura	50 – 500 mm	1,0 – 50 mm
Irregularidade	0,5 – 50 m	1,0 – 200 mm

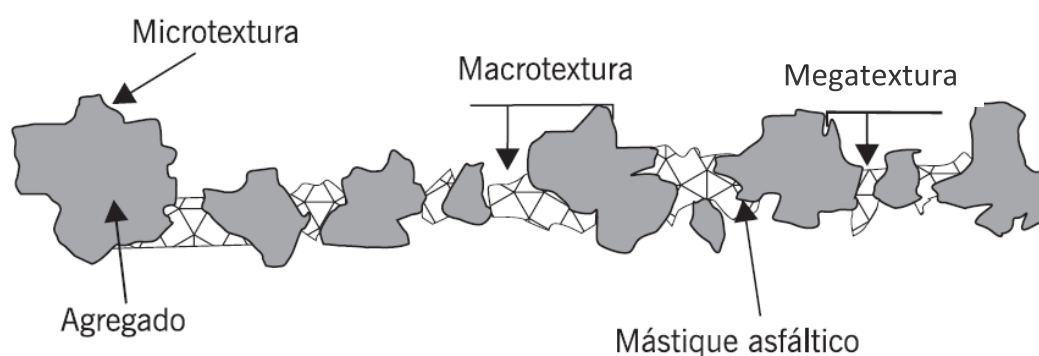
Fonte: APS, 2006.

Percebe-se que existem parcelas da macrotextura e megatextura dentro do intervalo de irregularidade em relação a amplitudes. A microtextura indica a propriedade dos agregados em apresentar uma superfície duravelmente áspera capaz de perfurar o filme de água residual no contato do pneu com o pavimento e, assim, oferecer atrito entre pneu e pavimento (FILHO, 2001). Ainda segundo Filho (2001), a

microtextura é determinada pela natureza do agregado utilizado e com a contribuição de partículas e é a principal responsável pela aderência à baixa velocidade.

A macrotextura designa os desvios da superfície com comprimento de onda entre 0,5 e 50 mm e amplitude de onda entre 0,2 e 10 mm (FILHO, 2001). Segundo Peder (2017), ela é responsável pela drenagem superficial do pavimento, criando canais que garantem a capacidade do revestimento escoar a água acumulada na superfície. A Figura 5 representa esquematicamente microtextura, macrotextura e megatextura.

Figura 5 – Microtextura, macrotextura e megatextura na superfície de um revestimento asfáltico



Fonte: Bernucci *et al.*, 2010

A megatextura pode ser definida como irregularidades superficiais cujos comprimentos de onda variam entre 5 e 50 cm e amplitude entre 1 e 50 mm. São capazes de produzir vibrações e considerados defeitos no pavimento, afetam o atrito entre pneu e pavimento e de sobremaneira o conforto e o custo operacional dos veículos (SPECHT *et al.*, 2007).

A aderência produzida na interação pneu-pavimento é um dos fatores que contribui para a segurança viária; camadas de rolamento com boa aderência podem reduzir a distância de frenagem, principalmente em pavimentos molhados, e manter em todo o tempo de percurso a trajetória desejada para o veículo (APS, 2006). A segurança das pistas molhadas pode ser considerada como um dos aspectos funcionais de um pavimento, embora haja pouca tradição no país de sua avaliação ou medida em rodovias, sendo mais usual em aeroportos (BERNUCCI *et al.*, 2010).

2.5 Equipamentos medidores da Irregularidade Longitudinal

De acordo com Bernucci *et al.* (2010), 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 à suspensão.

Segundo Karamihas e Sayers (1998), as avaliações do pavimento são determinadas da seguinte forma:

- 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.);
- Avaliação subjetiva: esta avaliação é denominada *PSR – Present Serviceability Ratio*, correspondendo ao *VSA – Valor de Serventia Atual*. É uma medida subjetiva baseada em notas dadas por técnicos avaliadores e é classificada como classe IV.

A Tabela 4 mostra os níveis de serventia de acordo com o DNIT (2011).

Tabela 4 – Níveis de serventia

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Fonte: DNIT, 2011.

O Quadro 5 mostra as classes existentes junto à sua definição.

Quadro 5 – Classificação de equipamentos ou métodos

Classes	Definição
Classe I	Alta precisão de medição do perfil. Os mais exatos para determinação do IRI. Equipamentos: nível e mira de precisão, perfilômetro do TRL, <i>dipstick</i> (gira a 180°), etc. Fazem uso de programas computacionais baseados em algoritmos matemáticos. Avaliação direta.
Classe II	Medição sem contato com a superfície. Menor acurácia que a classe I. Equipamentos: perfilômetros de alta velocidade, como APL Trailer e o <i>GMRTtype</i> . Fazem uso de programas computacionais baseados em algoritmos matemáticos. Avaliação direta.
Classe III	Geradores de perfis simples ou equipamentos do tipo resposta. Enquadram-se os métodos que recorrem ao uso de equações de correlação para estimação do valor de IRI. Estabelecem a irregularidade baseados na determinação do movimento relativo em que o sistema de suspensão do veículo é submetido ao trafegar sobre o pavimento. Equipamentos: <i>Roadmaster</i> , ROMDAS, <i>roughmeter</i> , TRL <i>bum integrator</i> , <i>Merlin</i> etc. Avaliação indireta.
Classe IV	Avaliação subjetiva. Mediante experiência prévia do avaliador e uma inspeção visual. Além disso, pode ser adotado um sistema de classificação baseado em código, no qual são atribuídas notas para classificar a condição da superfície do pavimento. Avaliação indireta.

Fonte: Bernucci *et al.*, 2010.

2.5.1 Exemplificação de equipamentos medidores de IRI

Este item contempla alguns exemplos de equipamentos medidores de IRI, além de sua classificação.

2.5.1.1 Dipstick

Baseado na medição da inclinação feita por um sensor preciso (inclinômetro), o *Dipstick* é operado por uma pessoa, seu tamanho é reduzido e sua operação é simples. Para realizar uma medição basta girar o aparelho sobre cada um de seus pés, apoiar novamente ambos os pés do aparelho no pavimento e esperar cerca de 2 segundos entre cada giro, seguindo uma trajetória definida (BARELLA, 2008). A Figura 6 mostra o equipamento mencionado.

Figura 6 – *Dipstick*

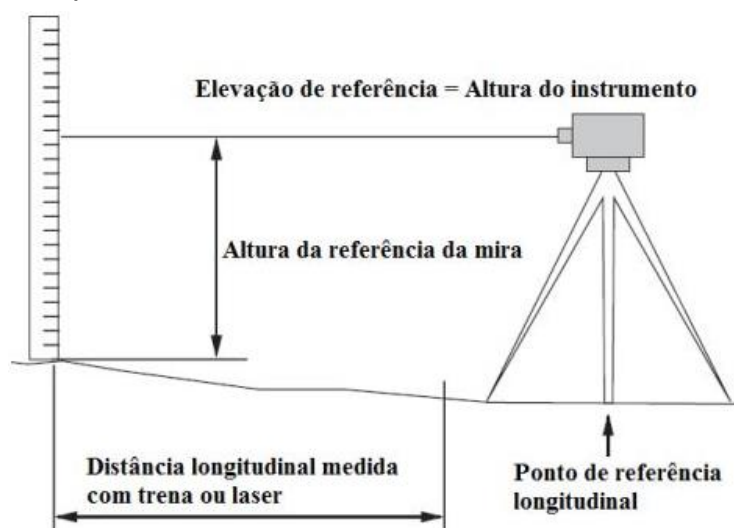


Fonte: The Face, 2017.

2.5.1.2 Nível e Mira

O levantamento topográfico do perfil longitudinal mais conhecido e disponível mundialmente é executado pelo método de Nível e Mira. A Figura 7 mostra o esquema deste método.

Figura 7 – Esquema do método Nível e Mira



Fonte: Bisconsini, 2016.

A execução do levantamento deve ser composta por dois topógrafos, um para o porta-mira e o outro para anotar as leituras. Deve ser utilizado o nível óptico com luneta de focalização interna e traços estadimétricos, com precisão de 1,5 mm/Km, mira para o nivelamento com 2 a 4 m de comprimento, com nível de bolhas graduado em divisões de pelo menos meio centímetro permitindo a leitura em milímetros por interpolação e trena de aço graduado em centímetros (DNER-ES 173, 1986).

O levantamento longitudinal é feito nas trilhas de roda externa e interna a cada 0,50 m. Este método é considerado relativamente lento e trabalhoso, sendo empregado para calibração de outros instrumentos de medida de irregularidade longitudinal de maior rendimento (BERNUCCI *et al.*, 2010).

2.5.1.3 Perfilômetro inercial

Trata-se de um equipamento destinado à medida do perfil longitudinal de um pavimento que possui um componente inercial, destinado à compensação dos movimentos verticais do veículo, normalmente, é um medidor de aceleração vertical (BARELLA, 2008). Este equipamento é pertencente à Classe II. A Figura 8 mostra o equipamento mencionado.

Figura 8 – Perfilômetro inercial

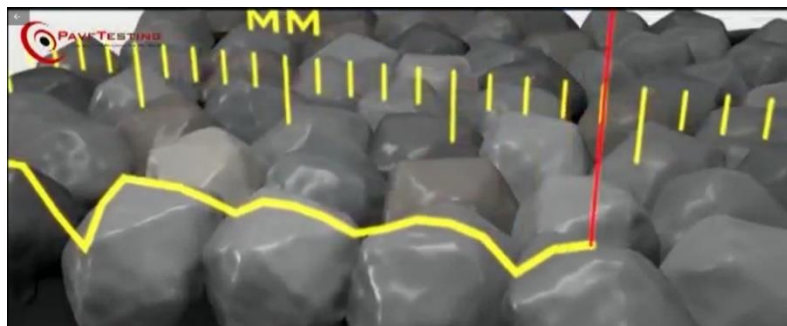


Fonte: Barella, 2008.

De acordo com Barella (2008), o perfilômetro funciona da seguinte maneira: em um momento inicial, o veículo contendo o equipamento trafega sobre o pavimento e o computador registra simultaneamente o deslocamento longitudinal, a altura do

veículo até o pavimento e a aceleração vertical do veículo informando assim a irregularidade longitudinal. A Figura 9 mostra o funcionamento do *laser* do perfilômetro em contato com o pavimento.

Figura 9 – Funcionamento do Perfilômetro inercial



Fonte: Pavetesting, 2014.

2.5.1.4 MERLIN

Equipamento *MERLIN* – *Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation* é uma estrutura de metal formada por dois elementos verticais e um horizontal de duas barras. A parte dianteira é constituída basicamente de uma roda com aproximadamente 2 m de perímetro (ARTERIS, 2017).

Ainda de acordo com Arteris (2017), na parte central do equipamento está situada uma barra vertical que não chega ao piso e que pivota em um eixo de solidariedade com outra barra horizontal que serve para fixar o patim central. Essas duas barras formam o braço móvel do equipamento que captura a medida da irregularidade do pavimento e transfere para uma escala localizada na parte superior. A Figura 10 mostra o equipamento mencionado.

Figura 10 – MERLIN



Fonte: Hirpahuanca, 2016.

2.6 Novas tecnologias para a estimação da Irregularidade Longitudinal

O avanço tecnológico está conquistando espaço em várias modalidades da Engenharia Civil e, mais especificamente, na Engenharia de Transportes. O uso de aplicativos para *smartphones* facilita nas atividades rotineiras dos setores, por exemplo, na avaliação funcional dos pavimentos.

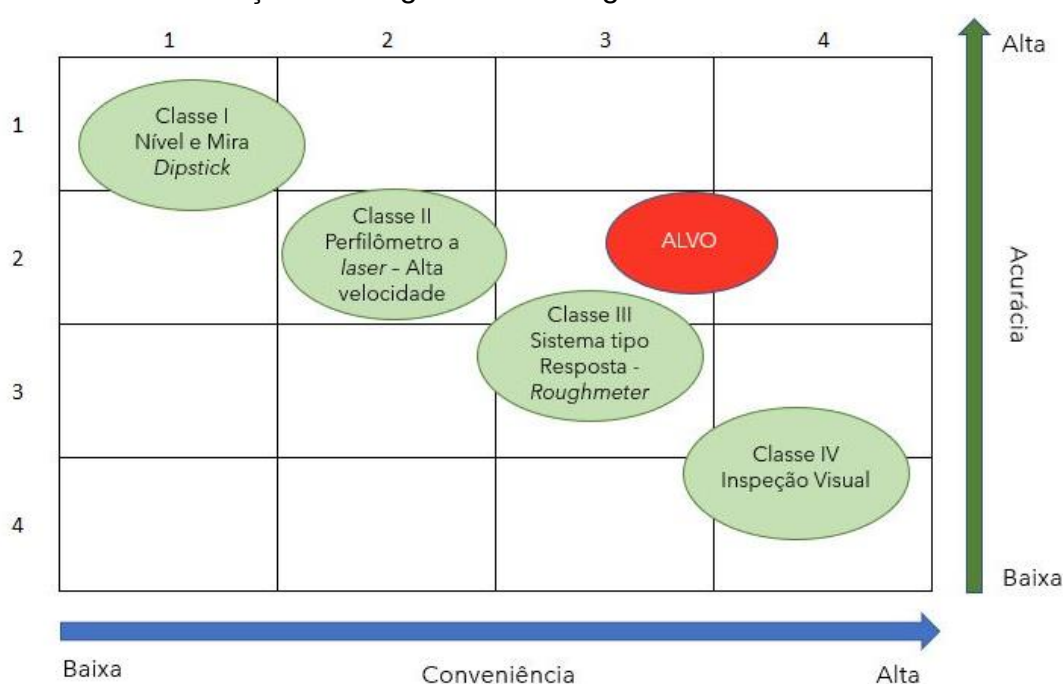
Na avaliação funcional, os aplicativos além de econômicos e de fácil operação, tornam a realização das coletas de dados mais rápidas e precisas, quando comparado aos outros métodos tradicionais, como nível e mira. Segundo Bisconsini (2016), a maioria dos *smartphones* tem a capacidade de processamento avançado, sensores de movimento (barômetro, acelerômetro e magnetômetro) e um GPS – Sistema de Posicionamento Global. Nesta pesquisa, utilizou-se o aplicativo denominado SmartIRI que faz uso do acelerômetro e o receptor GPS.

O acelerômetro pode monitorar a variação da aceleração de um dispositivo ao longo dos eixos e pode ser utilizado como uma medida inercial de velocidade e posição, inclinação ou orientação tendo como referência a aceleração da gravidade e vibração. No entanto, a aceleração coletada será a vertical. O receptor de GPS irá fornecer os dados de latitude e longitude vinculados aos valores dessa aceleração vertical (ALMEIDA, 2018).

Segundo Bisconsini (2016), a utilização de *smartphones* para avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos pode ser caracterizado como um sistema de medição do tipo resposta (*RTRRMS – Response-Type Road Roughness Measurement Systems*), semelhante à Classe III, embora não funcione como um

medidor padrão da classe, que acumula, por meio de obtenção do deslocamento do eixo do veículo, ou de um reboque, em relação à carroceira, mas mensura as acelerações verticais por intermédio de um *smartphone* fixado na parte interior do automóvel. A Figura 11 mostra a classificação dos *smartphones* em relação aos outros equipamentos de medição de irregularidade longitudinal. O alvo indicado refere-se à obtenção de um sistema com maior acurácia e conveniência possível, mas ainda pertencente à Classe III.

Figura 11 – Classificação dos *smartphones* em relação aos demais equipamentos de medição de irregularidade longitudinal



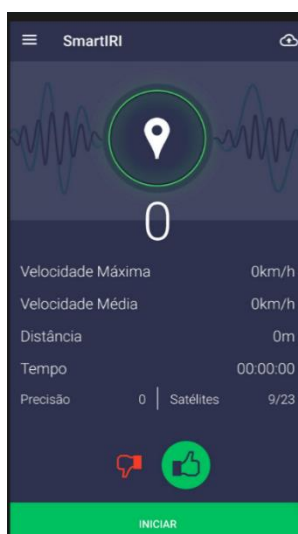
Fonte: Adaptado de Almeida, 2018.

No entanto, de acordo com Muliterno *et al.* (2019), investigar o potencial de *smartphones* para a mensuração da irregularidade longitudinal dos pavimentos é uma importante linha de pesquisa, tendo em vista que, embora haja um número crescente de trabalhos acerca do tema, ainda restam dúvidas sobre a qualidade e a forma de aplicação dos sinais obtidos por esta metodologia. Como exemplo de aplicativos para *smartphones* podem ser citados o *Roadroid* desenvolvido por Forslof e Jones (2013), o *RoadLab* desenvolvido por Wang e Guo (2016), o *BumpRecorder* desenvolvido por Yagi (2016) e *SmartIRI* desenvolvido por Almeida (2018).

2.6.1 SmartIRI

SmartIRI é um aplicativo para *smartphones* disponível para *Android* e desenvolvido por Almeida (2018) na Universidade Federal do Ceará. Este programa foi utilizado neste trabalho para obtenção de valores do IRI nas 6 faixas de tráfego da Av. Senador Carlos Jereissati. A Figura 12 mostra a página inicial do aplicativo.

Figura 12 – Página inicial do SmartIRI



Fonte: Almeida, 2018.

Os aplicativos precisam de uma prévia calibração por correlação para cada veículo, aparelho e velocidade operacional. Feita a calibração, o celular deve ser fixado no para-brisa do veículo através de um suporte, conforme a Figura 13, e a avaliação deve ser iniciada com o veículo em movimento com a velocidade entre 60 e 80 km/h (DUARTE, 2018).

Figura 13 – Suporte e posição que o aparelho deve ficar durante a avaliação



Fonte: Almeida, 2018.

Essa sugestão de velocidade operacional é devido ao fato de que em velocidades muito baixas os pneus acumulam pequenas saliências, ou seja, efeito da “envoltória dos pneus” sobre as irregularidades de alta frequência, apresentando pequenos comprimentos de onda e resultando em baixos níveis de irregularidades. Por outro lado, os ruídos produzidos pelos aparelhos celulares têm um resultado maior em velocidades baixas quando a amplitude alcança o sinal de aceleração vertical medida, com isso, diminuindo a sua correlação com a irregularidade verdadeira do pavimento (BISCONSINI, 2016).

Após o *smartphone* ser fixado no para-brisa, segundo Almeida (2018), o próprio *smartphone* faz o processamento dos dados por meio de valores RMS e coordenadas oriundas do GPS a cada 100 metros percorridos e a partir desses dados, com implementação de um modelo elaborado por Almeida (2018), determina-se o valor de IRI e sua respectiva localização no trecho em que foi realizado o levantamento. Possibilitando a análise diretamente no aplicativo ou através de *upload* dos arquivos gerados para mais detalhes como hora da medição, velocidade média, condição funcional de acordo com a escala adotada, latitude e longitude, distância percorrida, valores de IRI e RMS como mostra a Figura 14.

Figura 14 – Resultado do arquivo de medição gerado pelo SmartIRI

HORA	VEL. MÉDIA (km/h)	CLASSIFICAÇÃO	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DISTÂNCIA (m)	IRI (m/km)	RMS (m/s ²)
07:26:56	54	REGULAR	-3,77244	-38,5507	-3,77334	-38,5509	104	4,57	1,15
07:27:06	57	REGULAR	-3,77334	-38,5509	-3,77434	-38,5509	111	4,84	1,28
07:27:13	54	REGULAR	-3,77434	-38,5509	-3,77524	-38,5506	105	5,45	1,41
07:27:20	56	BOM	-3,77524	-38,5506	-3,77601	-38,55	110	3,47	0,87
07:27:27	56	REGULAR	-3,77601	-38,55	-3,77665	-38,5492	108	5,28	1,38
07:27:34	55	REGULAR	-3,77665	-38,5492	-3,77727	-38,5485	106	4,15	1,04

Fonte: Autora, 2020.

O SmartIRI, após o cálculo do IRI, disponibiliza também um arquivo no formato kml e csv, que permite ao usuário a visualização do trecho monitorado por meio de mapas, segmentando o trecho a cada 100 m em uma escala de cores (ALMEIDA, 2018). A Tabela 5 mostra como é feita a classificação do pavimento e suas respectivas cores.

Tabela 5 – 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: Adaptado de Almeida, 2018.

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.

2.7 Sistema de Gerência de Pavimentos

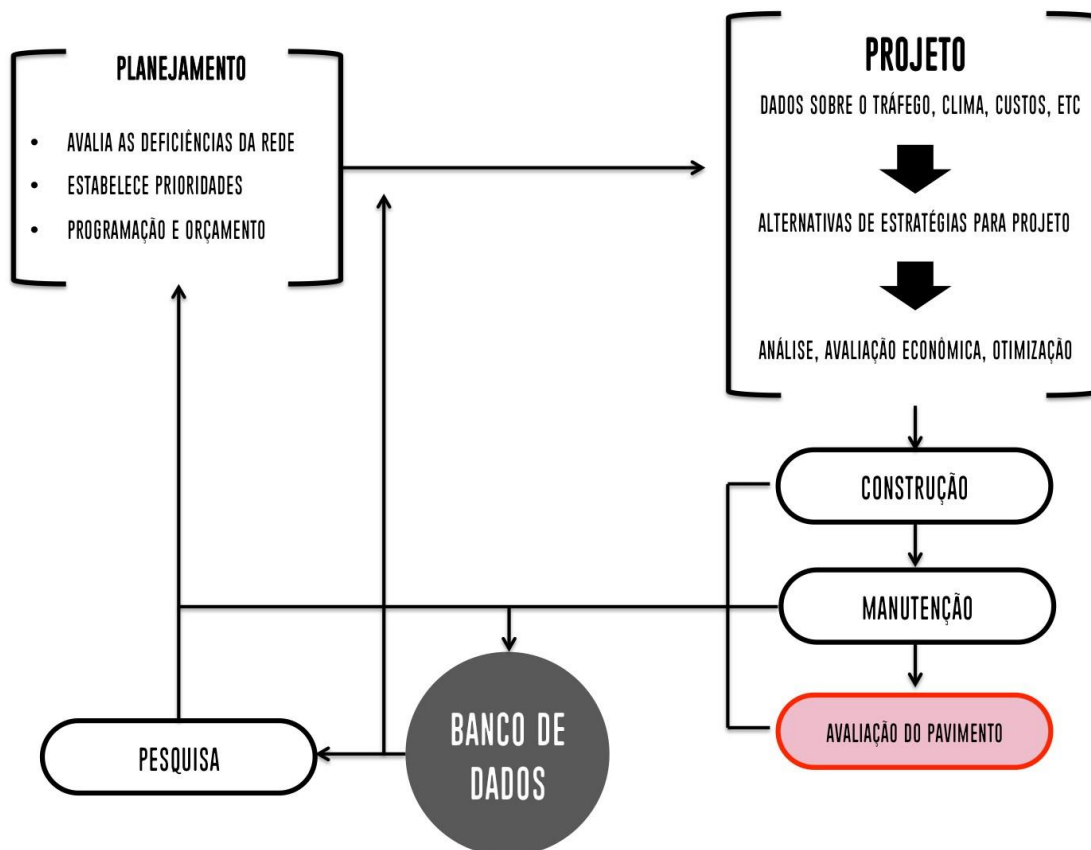
O conhecimento da malha rodoviária, através de levantamento de dados em campo, com posterior análise, constitui o primeiro passo a ser dado por órgãos rodoviários com o objetivo de melhor gerenciar o sistema rodoviário. O SGP – Sistema de Gerência de Pavimentos é um ramo de atividade que fornece o suporte necessário a uma organização, pública ou privada, na manutenção dos pavimentos rodoviários em condições mínimas de serviço, a partir de um orçamento pré-definido, em um período determinado (ALBUQUERQUE, 2007).

A Gerência de Pavimentos constitui-se em uma importante ferramenta de administração, objetivando determinar a forma mais eficaz da aplicação dos recursos públicos disponíveis, em diversos níveis de intervenção, de sorte a responder às necessidades dos usuários dentro de um plano estratégico que garante a melhor relação Custo x Benefício (DNIT, 2011). Um SGP tem por objetivo a obtenção do melhor retorno possível para os recursos investidos, provendo pavimentos seguros, confortáveis e econômicos aos usuários. Possibilita, simultaneamente, a melhoria das condições dos pavimentos e a redução dos custos de manutenção e reabilitação e de operação dos veículos (BERTOLLO, 1997).

Segundo Bertollo (1997), a tomada de decisão em um SGP é dividido em dois níveis: rede e projeto. O primeiro inclui as atividades de planejamento, programação e orçamento, enquanto as decisões em nível de projeto envolvem atividades de dimensionamento, construção e manutenção. A Figura 15 apresenta o fluxograma de

um SGP. Pode-se observar que a avaliação funcional do pavimento faz parte do SGP como destacado na Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma dos componentes de um SGP



Fonte: Adaptado de Shoji, 2000.

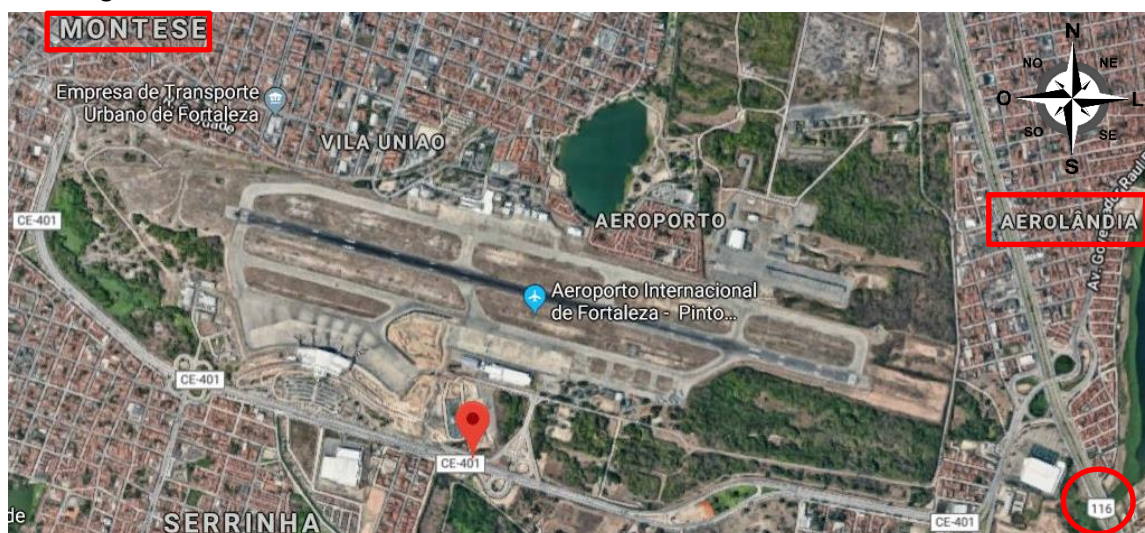
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será abordado sobre a localização do estudo de caso situado na Av. Senador Carlos Jereissati, também conhecida como Rodovia CE-401, além de detalhar como foi executado o processo de levantamento por meio de *smartphone* e a organização dos dados em planilha eletrônica para respectiva análise. Esta pesquisa é de natureza quali-quantitativa.

3.1 Localização do trecho analisado em estudo

A Av. Senador Carlos Jereissati é uma Rodovia Estadual (CE-401), ou popularmente conhecida como Av. do Aeroporto, com localização no município de Fortaleza no Estado do Ceará. Segundo Duarte (2018), a avenida foi construída entre os anos de 1997 e 1998, e possui aproximadamente 6 km de extensão ligando os bairros do Montese e Aerolândia, nas proximidades da Rodovia BR-116, conforme destacado a Figura 16.

Figura 16 – Av. Senador Carlos Jereissati



Fonte: Adaptado de Google Maps, 2019.

O trecho correspondente para análise tem uma extensão de 4,1 km e segundo Almeida (2018), possui revestimento do tipo CAUQ – Concreto Asfáltico Usinado à Quente. A rodovia possui duas pistas de rolamento e seis faixas de tráfego sendo três faixas de tráfego em cada sentido, além de um canteiro central separando as duas

pistas de rolamento, como mostra a Figura 17. Além disso, a Figura 17 mostra a forma na qual as faixas foram enumeradas por Duarte (2018) para melhor organização de dados e foi dada continuidade à essa enumeração para este trabalho.

Figura 17 – Configuração da via



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2020.

Segundo Duarte (2018), a Av. Senador Carlos Jereissati apresentou em 2012 o VMDa – Volume Médio Diário Anual de 22.777 veículos no Sentido 1 e 21.417 veículos no Sentido 2. Devido à falta de dados, o VMDa foi projetado para o ano de 2019, utilizando uma taxa de 2 % para um crescimento exponencial segundo indicado por DNIT (2006c), conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – VMDa da Rodovia CE-401

Sentido	1	1	2	2
Moto	2.408	11%	2.546	12%
Carro	12.493	54%	10.436	48%
Ônibus	670	3%	630	3%
Caminhão Leve	441	2%	468	2%
Caminhão médio	1.043	5%	999	5%
Caminhão Pesado	2.073	9%	1.876	9%
Caminhão ultra pesado	3.650	16%	4.462	21%
Total (2012)	22.777	100%	21.417	100%
Total Projetado (2019)	26.163		24.601	

Fonte: Adaptado de Duarte, 2018.

3.2 Levantamento de dados

O levantamento de dados para este trabalho foi realizado no mês de março de 2020, entre 9h e 11h. A Rodovia CE-401 tem uma extensão de 6 km, como citado anteriormente, porém, o trecho avaliado foi de aproximadamente 4,1 km. O objetivo desta pesquisa foi analisar os dados já coletados nos anos de 2018 e 2019 e comparar com os dados que foram coletados no ano de 2020.

Assim, foi efetuado o comparativo da qualidade funcional das faixas de tráfego da rodovia dos três dados coletados, especialmente em alguns trechos em que a irregularidade aparenta ser maior, devido ao acúmulo de defeitos, provocando assim, a oscilação da irregularidade longitudinal e da qualidade de rolamento. Também foi realizado um registro fotográfico dos defeitos presentes na região de estudo. A Figura 18 apresenta o trecho que será avaliado.

Figura 18 – Trecho com extensão de 4,1 km

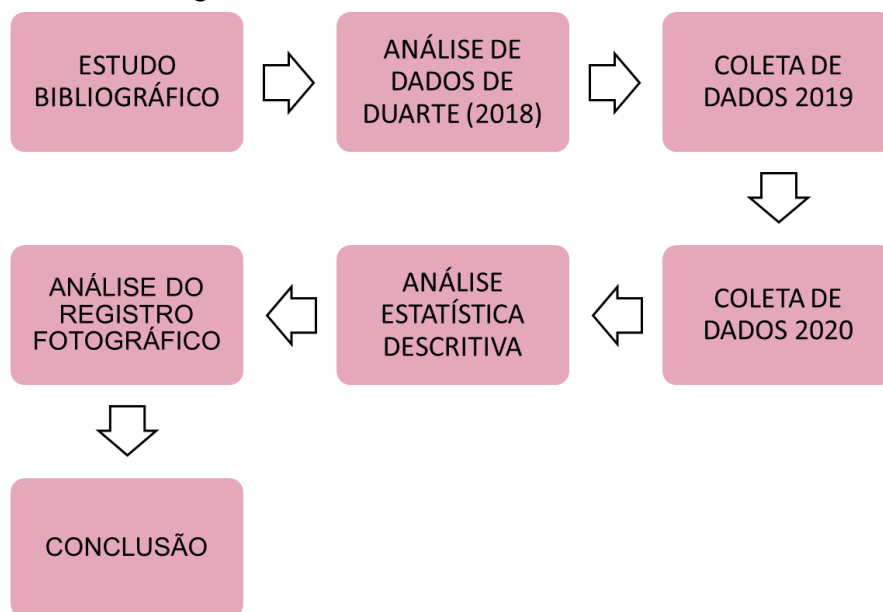


Fonte: Adaptado de Duarte, 2018.

O veículo que foi utilizado para o levantamento de dados foi da marca Hyundai, modelo HB 20, motor 1.6, ano 2016.

A Figura 19 apresenta o fluxograma das etapas do trabalho para melhor visualização.

Figura 19 – Fluxograma

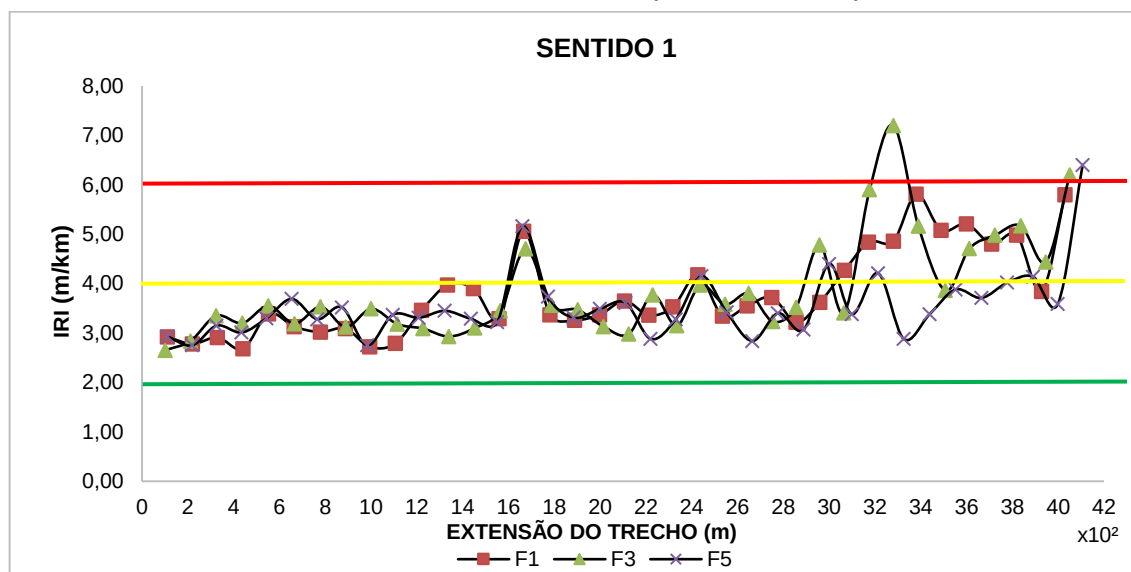


Fonte: Autora, 2020.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Para fins de comparação da variação da irregularidade longitudinal do pavimento, foram analisados dados dos anos de 2018 e 2019 também coletados com o aplicativo SmartIRI. O Gráfico 1 apresenta os dados obtidos por Duarte (2018).

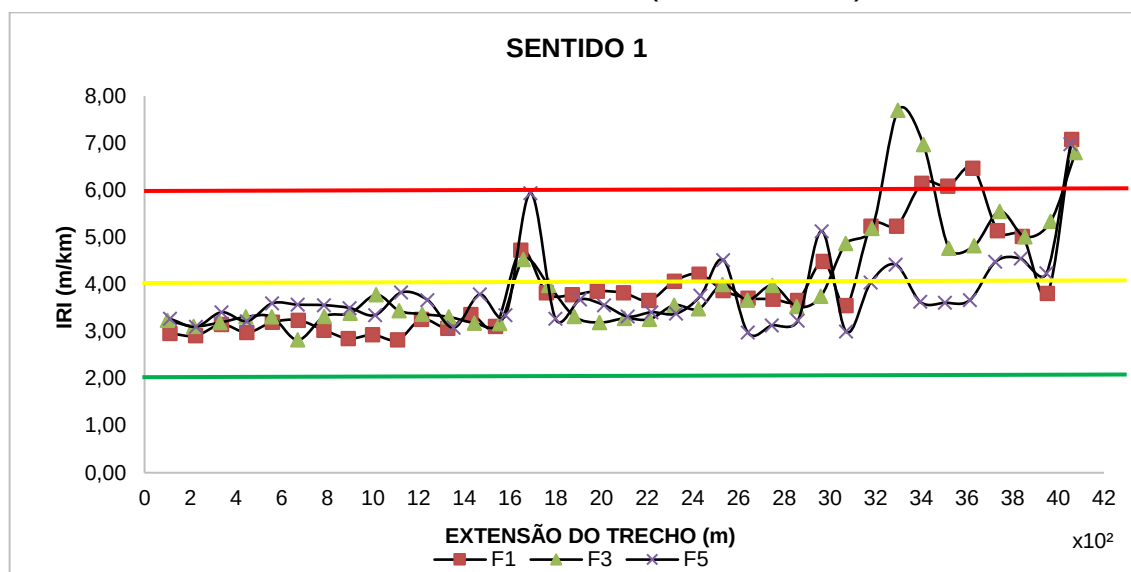
Gráfico 1 – Dados de 2018 no Sentido 1 (BR - Montese)



Fonte: Autora, 2020.

Para os dados obtidos em 2019, ilustrado no Gráfico 2, foi possível observar que uma maior extensão com valores de IRI acima de 6,00 m/km, sendo classificados como ruim de acordo com a classificação do aplicativo. No geral, os resultados de 2019 apresentaram comportamento semelhante a análise de Duarte (2018), isto é, classificação boa, exceto alguns pontos específicos nos quais houve um aumento do IRI.

Gráfico 2 – Dados de 2019 no Sentido 1 (BR - Montese)



Fonte: Autora, 2020.

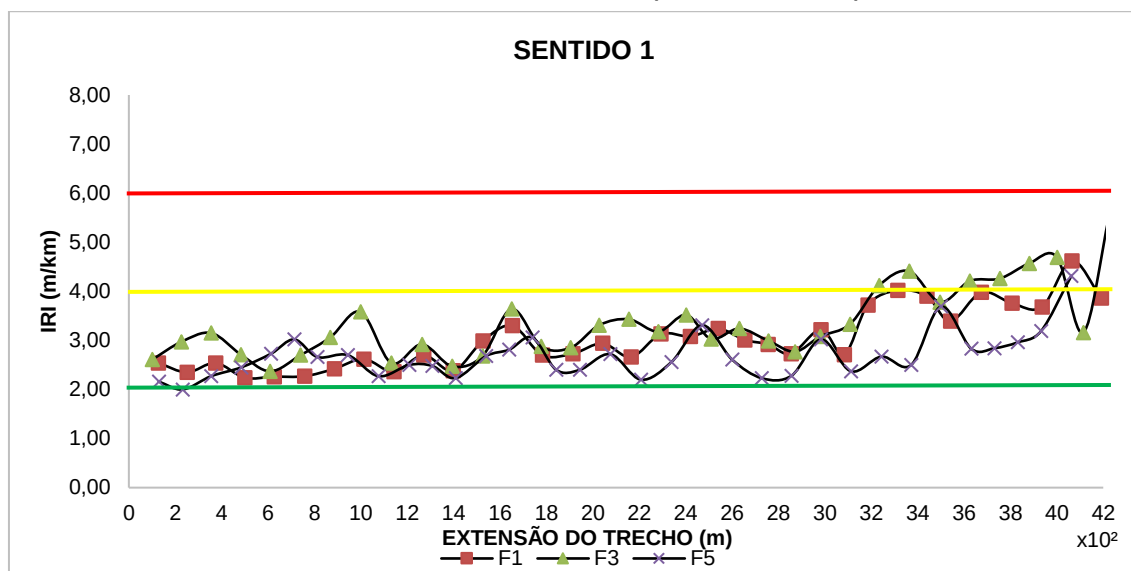
A partir da comparação dos dados de Duarte (2018) e os obtidos no ano de 2019 no Sentido 1, observou-se um aumento no IRI na faixa F5, aproximadamente em uma extensão de 1.700 m, elevando o valor de IRI de 5,00 m/km para 5,94 m/km, resultando ainda na classificação regular que consiste em valores entre 4 m/km e menor que 6 m/km, porém, no limite para classificação ruim. A partir da extensão de 3.400 m, nota-se que nos anos de 2018 e 2019, o IRI ultrapassa, nas três faixas, o valor maior que 6,00 m/km, evidenciando más condições de trafegabilidade devido à presença de defeitos do tipo couro de jacaré, panelas e trincas.

Em resumo, os dados obtidos em 2019, foi possível observar que houve uma maior extensão com valores de IRI acima de 6,00 m/km, sendo classificados como ruim de acordo com a classificação do SmartIRI. No geral, os resultados de 2019 apresentaram comportamento semelhante a análise de Duarte (2018), isto é, classificação boa, exceto alguns pontos específicos nos quais houve um aumento do IRI.

Somando-se a esses dados têm-se os resultados coletados em 2020 que apresentaram um comportamento melhor quando comparado aos outros anos. Para este ano de análise, observa-se no Gráfico 3, que os resultados mantiveram-se inclusos no intervalo de IRI entre 2,00 m/km e menor que 4,00 m/km, isso significa que o pavimento está em boas condições de rolamento e sua classificação de acordo com o aplicativo é boa. Pode-se informar que foi realizada uma manutenção no trecho

onde foi possível constatar através do registro fotográfico feito *in loco*. Exceto no intervalo de extensão de 3.400 m e 4.200 m (final do trecho) onde os valores foram acima de 4 m/km, resultando em uma classificação regular.

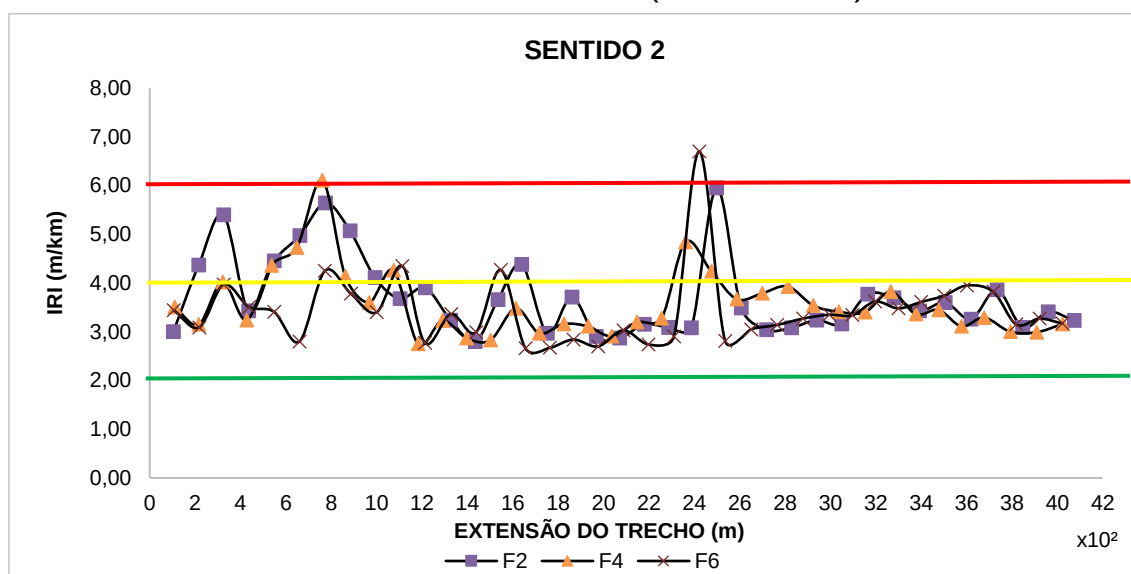
Gráfico 3 – Dados de 2020 no Sentido 1 (BR - Montese)



Fonte: Autora, 2020.

O Sentido 2 possui análise análoga ao Sentido 1. O Gráfico 4 apresenta os dados obtidos por Duarte (2018).

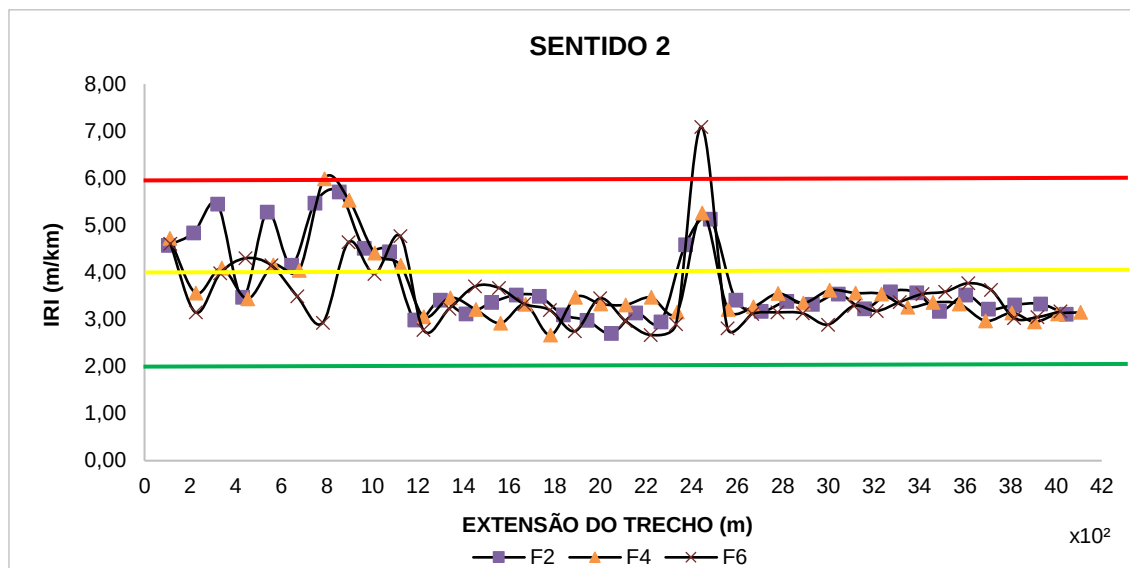
Gráfico 4 – Dados de 2018 no Sentido 2 (Montese - BR)



Fonte: Autora, 2020.

O Gráfico 5 apresenta os dados obtidos no ano de 2019 para o Sentido 2.

Gráfico 5 – Dados de 2019 no Sentido 2 (Montese - BR)



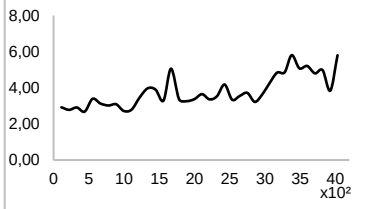
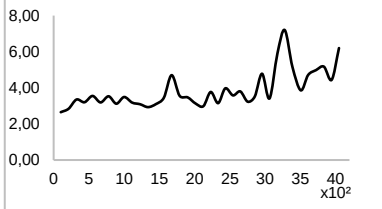
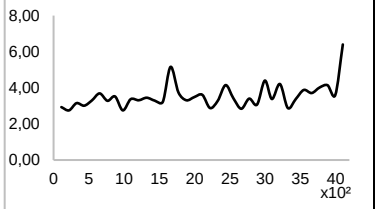
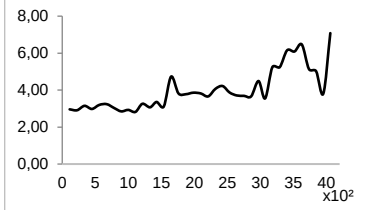
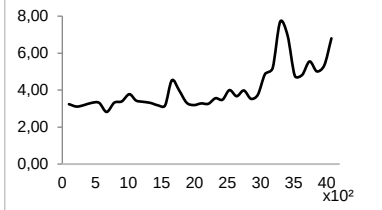
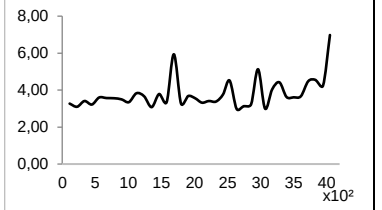
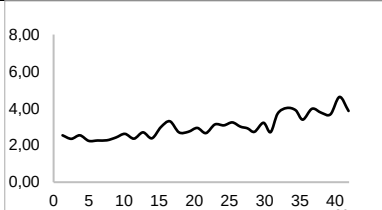
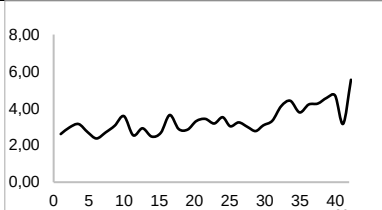
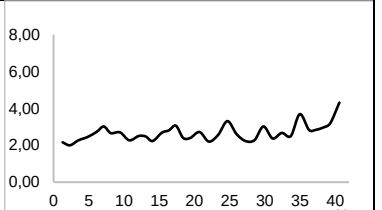
Fonte: Autora, 2020.

Ao analisar os dados de 2019 para o Sentido 2 observa-se comportamento semelhante ao evidenciado por Duarte (2018), isto é, classificação regular, porém, com uma pequena redução nos valores de IRI no final do trecho. Verifica-se que para as faixas F2 e F6 obtiveram um decréscimo do valor de IRI no intervalo de 1.200 a 2.200 m, redução de 4,5 m/km para 3,5 m/km, saindo da classificação regular para boa. Na extensão de 2.500 m, na faixa F2 o IRI diminuiu de 5,95 m/km para 4,59 m/km, resultando ainda, na classificação regular. A faixa F6 aumentou o IRI de 6,70 m/km para 7,10 m/km, ou seja, a condição do pavimento nessa faixa continua com a classificação ruim.

O levantamento que seria realizado no Sentido 2 não ocorreu devido ao fato da via analisada estar passando por obras de mobilidade urbana, e, conseqüentemente, diminuição da velocidade de deslocamento, tornando assim, o levantamento impreciso.

Para melhor visualização, os Quadros 6 e 7, apresentam o comportamento de irregularidade longitudinal para todas as faixas de tráfego nos três anos de análise e o que realmente confirma a atividade de manutenção do trecho no ano de 2020, apesar de que, no trecho final, ainda consiste na classificação regular.

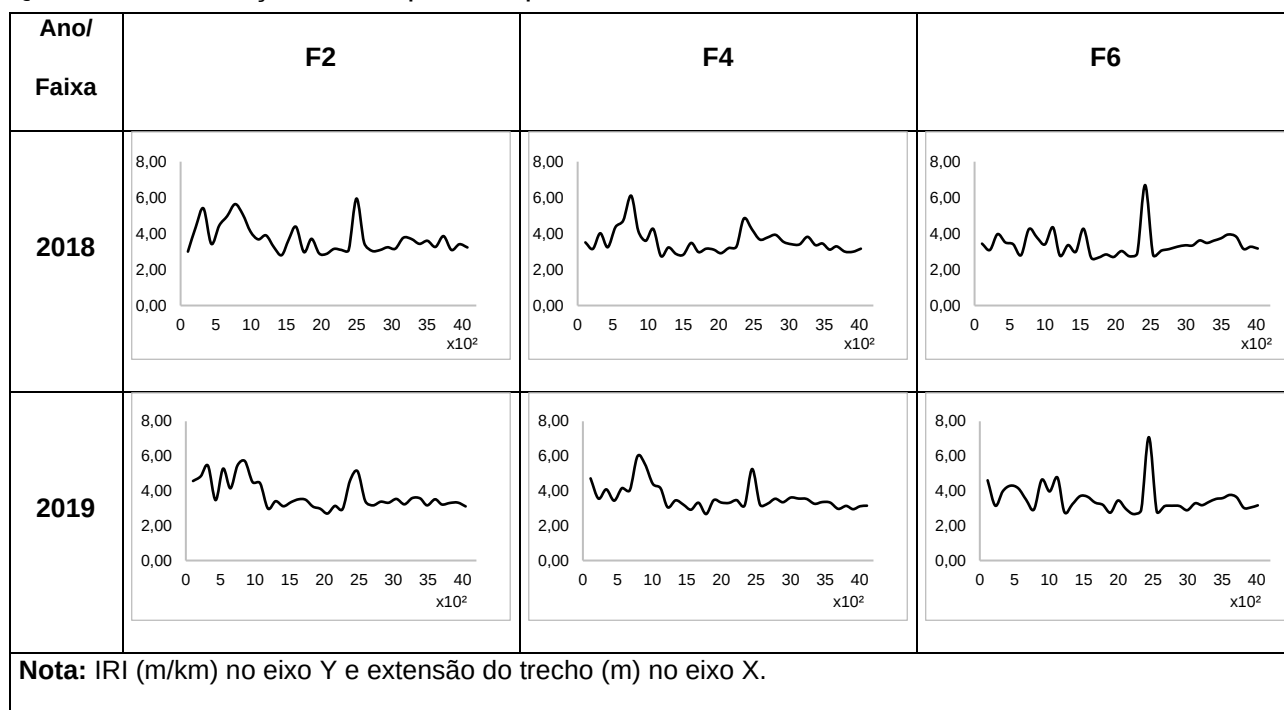
Quadro 6 – Variação do IRI por ano para as faixas do Sentido 1

Ano/ Faixa	F1	F3	F5
2018			
2019			
2020			

Nota: IRI (m/km) no eixo Y e extensão do trecho (m) no eixo X.

Fonte: Autora, 2020.

Quadro 7 – Variação do IRI por ano para as faixas do Sentido 2



Fonte: Autores, 2020.

4.1 Análise estatística descritiva

Neste tópico foi feito a análise estatística descritiva dos valores de IRI para os dois sentidos da pista de rolamento para as seis faixas pros anos 2018, 2019 e 2020. A Tabela 7 apresenta as médias do IRI dos três anos analisados no Sentido 1 e no Gráfico 6 apresenta essas médias em forma de gráficos de colunas.

Tabela 7 – Médias do IRI no Sentido 1 nos anos de 2018, 2019 e 2020

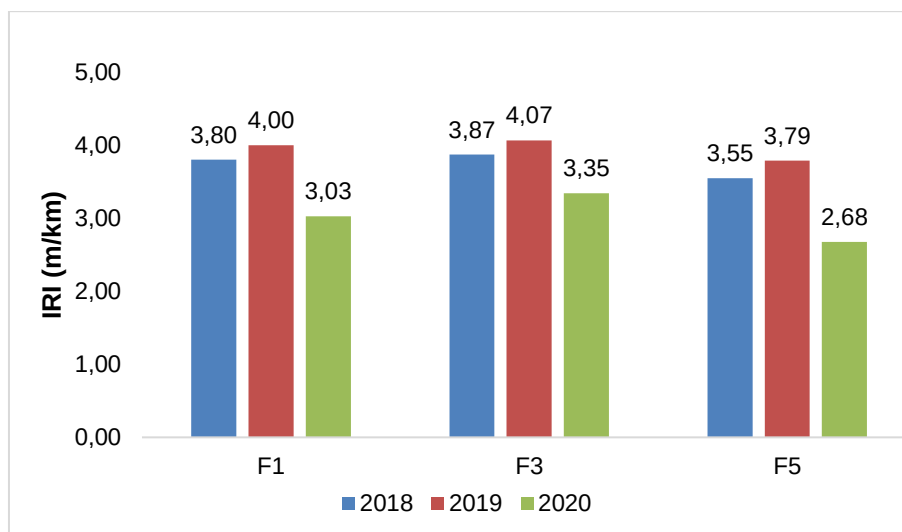
MÉDIAS 2018/2019/2020			
SENTIDO 1 - IRI (m/km)			
ANO	F1	F3	F5
2018	3,80	3,87	3,55
2019	4,00	4,07	3,79
2020	3,03	3,35	2,68

Fonte: Autora, 2020.

Para o Sentido 1, após análise comparativa entre o primeiro e segundo ano de coleta, 2018 e 2019, respectivamente, foi constatado um aumento da média do IRI de 4,91% na F1, 4,75% na F3 e 6,33% na F5, significando más condições no pavimento. Do ano de 2019 para o último ano (2020), houve uma redução da média

do IRI de 32,11% na F1, 21,56% na F3 e 41,43% na F5, possivelmente, devido à manutenção do pavimento. Em seguida, foi realizada uma análise geral entre o ano de 2018 e 2020, com uma redução de 25,63% na F1, 15,79% na F3 e 32,49% na F5.

Gráfico 6 – Médias das faixas do Sentido 1



Fonte: Autora, 2020.

Nota-se no Gráfico 6 que o IRI médio das faixas F1 e F5 é menor que 4,00 m/km nos anos de 2018 e 2020. De acordo com a classificação do SmartIRI, esse valor possui classificação boa. Entretanto, no ano de 2019 o IRI médio das faixas F1 e F3 é maior ou igual a 4,00 m/km sendo classificado como regular.

A Tabela 8 apresenta as médias do IRI dos dois anos analisados no Sentido 2 e no Gráfico 7 apresenta essas médias em forma de gráficos de colunas.

Tabela 8 – Médias do IRI no Sentido 2 nos anos de 2018 e 2019

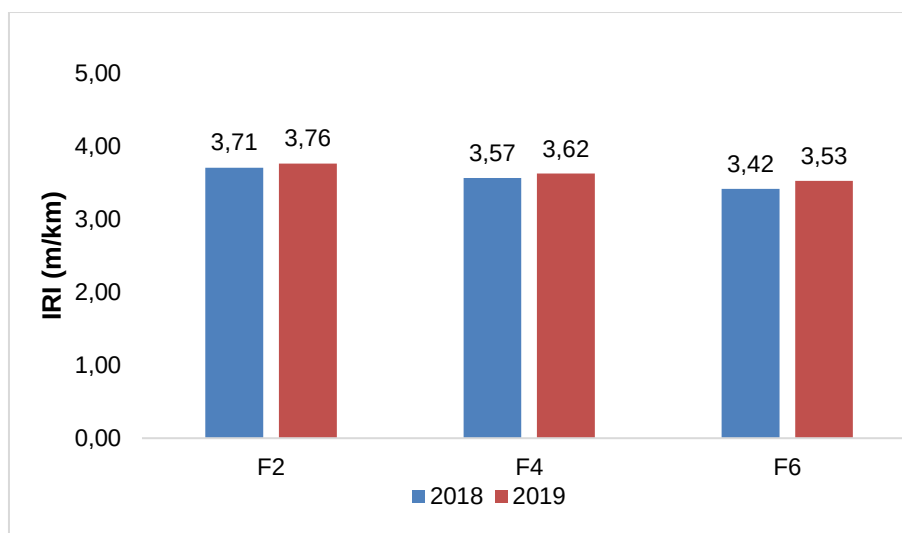
MÉDIAS 2018/2019			
SENTIDO 2 - IRI (m/km)			
ANO	F2	F4	F6
2018	3,71	3,57	3,42
2019	3,76	3,62	3,53

Fonte: Autora, 2020.

Para o sentido 2, foi realizada a mesma análise comparativa entre o ano de 2018 e o ano de 2019 e constatou-se um aumento da média do IRI de 1,48% na F2, 1,64% na F4 e 3,10% na F6. Com isso, foi feita uma análise geral entre os anos 2018 e 2019, nota-se que o sentido 1 apresentou aumento mais significativa na média do

IRI quando comparado ao sentido 2, significando que houve um maior desgaste do pavimento no sentido 1.

Gráfico 7 – Médias das faixas do Sentido 2



Fonte: Autora, 2020.

Nota-se no Gráfico 7 que o IRI médio de todas as faixas é menor que 4,00 m/km. Portanto, de acordo com a classificação do SmartIRI, esse trecho é considerado bom.

Na Tabela 9 estão dispostos os valores da média do IRI, desvio padrão e coeficiente de variação dos dois sentidos analisados. Observa-se um alto valor do coeficiente de variação, possivelmente devido ao trecho final do Sentido 1 e inicial do Sentido 2 que possuem altos valores de irregularidade longitudinal.

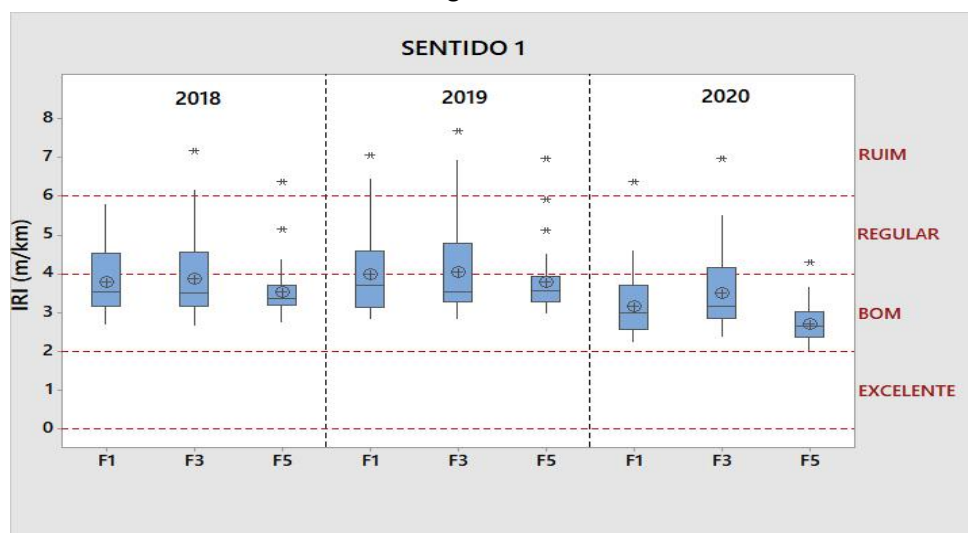
Tabela 9 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos anos de 2018, 2019 e 2020

	2018					
	Sentido 1			Sentido 2		
Faixas	F1	F3	F5	F2	F4	F6
Média (m/km)	3,80	3,87	3,55	3,71	3,57	3,42
Desvio Padrão (m/km)	0,88	1,03	0,70	0,81	0,68	0,72
CV (%)	23,18	26,56	19,58	21,90	18,98	21,18
	2019					
	F1	F3	F5	F2	F4	F6
Média (m/km)	4,00	4,07	3,79	3,76	3,62	3,53
Desvio Padrão (m/km)	1,11	1,18	0,82	0,83	0,74	0,81
CV (%)	27,72	28,96	21,61	22,09	20,28	23,01
	2020					
	F1	F3	F5	F2	F4	F6
Média (m/km)	3,03	3,35	2,68	-	-	-
Desvio Padrão (m/km)	0,61	0,73	0,47	-	-	-
CV (%)	20,23	21,84	17,37	-	-	-

Fonte: Autora, 2020.

As Figuras 20 e 21 apresentam imagens de gráficos elaborados no programa MiniTab no estilo de *BoxPlot*. Para a análise dos gráficos, é necessário entender os significados de cada informação neles obtida. Os valores do IRI são representados através das caixas em azul e quanto maior for comprimento da caixa, maior será a variação do IRI. As médias são representadas pelo símbolo de adição inseridas nas caixas. Os asteriscos, outliers, são pontos fora da curva, ou seja, a presença deles tratando de irregularidade longitudinal indica a presença de altos valores de IRI, o que pode indicar a presença de defeitos de alta severidade no pavimento.

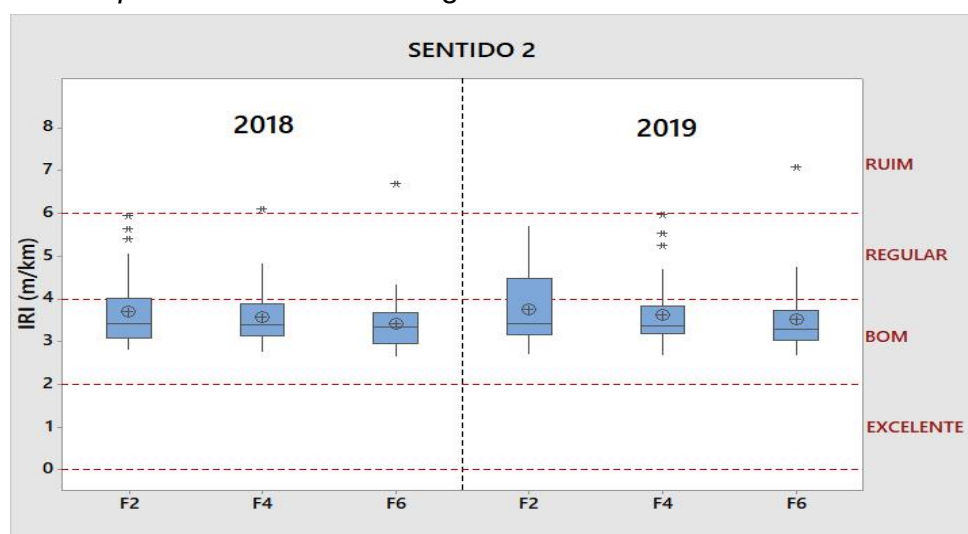
Figura 20 – *BoxPlot* das faixas de tráfego do Sentido 1



Fonte: Autora, 2020.

Nota-se na Figura 20 que os valores das médias possuem pouca alteração nos anos de 2018 e 2019. Entretanto, no ano de 2020, houve uma alteração maior. Deve-se observar, que, a faixa F5 dos três anos, tanto variação na média como o próprio valor de IRI é mais baixo, possivelmente por ser faixa de tráfego para veículos leves. Ao comparar os três anos, nota-se que no ano de 2020 tanto a variação do IRI como a média reduziram, o que indica que houve manutenção do trecho, verificada em campo pela presença de remendos.

Figura 21 – *Boxplot* das faixas de tráfego do Sentido 2



Fonte: Autora, 2020.

Nota-se na Figura 21, que os valores das médias não sofreram alterações significativas. No entanto, deve-se observar, que, a faixa F2 no ano de 2019 possui uma variação maior nos valores de IRI. Possivelmente por ser uma faixa de tráfego para veículos pesados tendendo a ser a mais solicitada e, conseqüentemente, o valor de IRI tende a aumentar.

4.2 Análise dos defeitos verificados no trecho

Uma análise foi feita *in loco* por meio de registro fotográfico e foram verificados alguns defeitos que contribuem para a majoração da irregularidade longitudinal. Observa-se nas imagens da Figura 22, um maior número de defeitos na faixa F1, o que explica os valores altos do IRI no registro de dados.

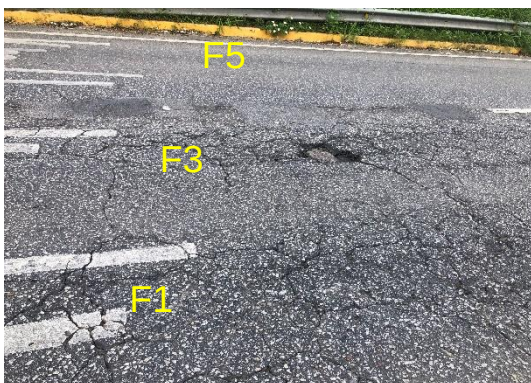
Figura 22 – Registro fotográfico do Sentido 1



Degrau no encontro do pavimento com a obra de arte especial (início)



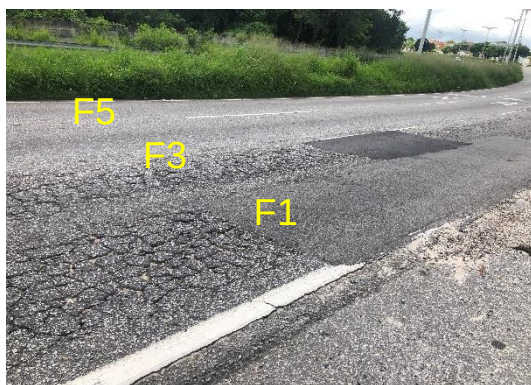
Degrau no encontro do pavimento com a obra de arte especial (final)



Remendo, couro de jacaré e painelas



Couro de jacaré e remendo



Couro de jacaré e remendo
Fonte: Autora, 2020.



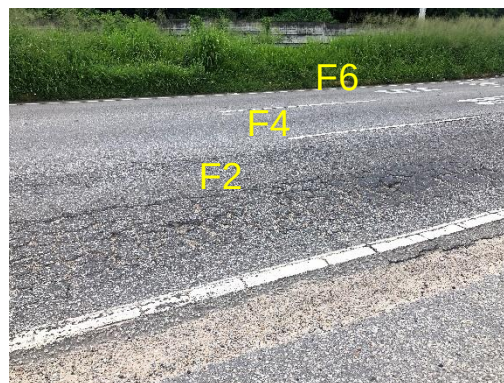
Remendo e couro de jacaré

A Figura 23 contém o registro fotográfico do Sentido 2. Constatou-se defeitos similares do Sentido 1, o que também contribuiu para um valor elevado do IRI. Verificou-se, também, *in loco*, que a faixa F2 possui péssimas condições de trafegabilidade que também é destinada ao tráfego de veículos pesados.

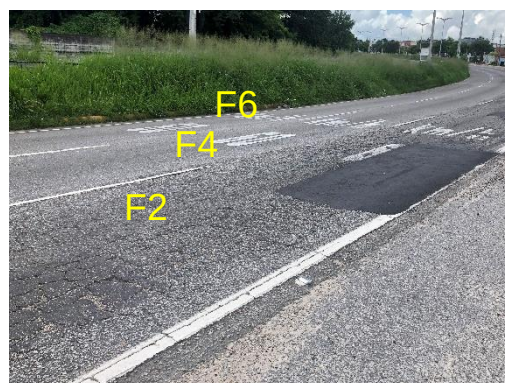
Figura 23 – Registro fotográfico do Sentido 2



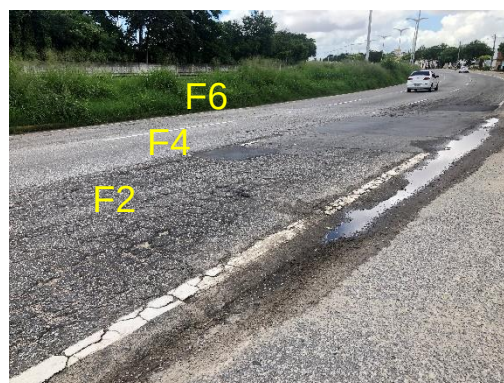
Couro de jacaré e remendo



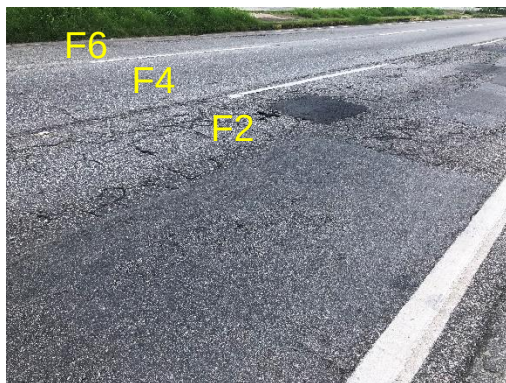
Couro de jacaré e remendo



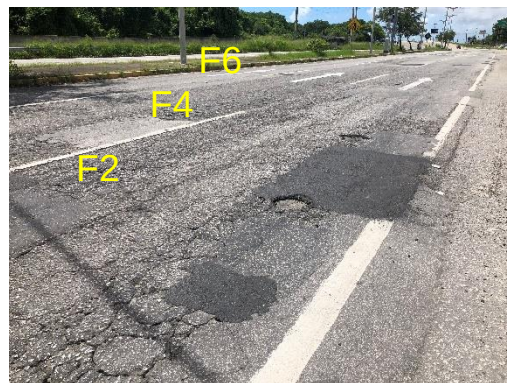
Couro de jacaré e remendo



Couro de jacaré e remendo



Couro de jacaré, remendo e panela
Fonte: Autora, 2020.



Couro de jacaré, remendo e panela

5 CONCLUSÃO

O uso dos aplicativos para smartphones facilita as atividades de avaliação funcional dos pavimentos para verificação do conforto ao rolamento dos veículos e está adjunta aos benefícios em potencial que o sistema pode oferecer, uma vez que órgãos rodoviários, principalmente em países em desenvolvimento, geralmente precisam conviver com limitações orçamentárias. Nesse cenário, reduz-se a frequência de monitoramento da infraestrutura viária, prejudicando o processo de tomada de decisão em sistemas de gerência de pavimentos.

Para o Sentido 1, no ano de 2019, os resultados apresentaram comportamento semelhante a análise de 2018, isto é, classificação boa, exceto no trecho final, que o IRI ultrapassa, nas 3 faixas, o valor maior que 6,00 m/km, evidenciando más condições de trafegabilidade, e sendo classificado como ruim. Somando-se a esses dados, têm-se os resultados obtidos em 2020, que apresentaram um comportamento melhor quando comparado aos outros anos. Os resultados mantiveram-se no intervalo de IRI de 2 m/km e menor que 4 m/km, sendo este classificado como bom pelo aplicativo e significando que o pavimento está em boas condições de rolamento.

Para o Sentido 2, no ano de 2019, o comportamento também foi semelhante ao evidenciado em 2018, porém, com uma pequena redução nos valores de IRI no final do trecho. As faixas F2 e F6 obtiveram um decréscimo do valor de IRI no intervalo de 1.200 a 2.200 m, redução de 4,5 m/km para 3,5 m/km, saindo da iminência de uma classificação regular para boa. Na extensão de 2.500 m, na faixa F2 o IRI diminuiu de 5,95 m/km para 4,59 m/km, resultando ainda, na classificação regular. A faixa F6 aumentou o IRI de 6,70 m/km para 7,10 m/km, ou seja, a condição do pavimento nessa faixa continua com a classificação ruim.

Diante disso, conclui-se que os altos valores de IRI, em determinados trechos da avenida estudada, foram devido à presença de defeitos do tipo couro de jacaré, remendos e panelas. Tais implicações decorreram do intenso fluxo de veículos pesados nas faixas externas (F1 e F2) e devido ao início e final do encontro do pavimento com obra de arte especial. Verificou-se, também, por meio de inspeção visual que atividades de manutenção foram realizadas principalmente no final do trecho para o Sentido 1, e, dessa forma, contribuiu para o decréscimo do valor do IRI.

Por fim, vale ressaltar que a utilização de novas tecnologias não impede o uso de outros métodos considerados tradicionais. A intenção dessa utilização é auxiliar os órgãos rodoviários na identificação, mensuração e detecção de trechos críticos que necessitam de intervenção, facilitando o processo de tomada de decisão e alocando de modo mais viável os recursos e tempo disponível.

Recomenda-se para trabalhos futuros outros levantamentos por faixa de tráfego, com isso, aumentando a veracidade dos dados e realizar um comparativo entre outros aplicativos e/ou equipamentos de distintas Classes.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. S. **Sistema de gerência de pavimento para departamentos de estradas do nordeste brasileiro**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.
- ARTERIS, ET. **Medição da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Equipamento Merlin**. Especificação Técnica. Designação ARTERIS ET 008. Centro de Desenvolvimento Tecnológico. São Paulo, 2017
- ALMEIDA, L. C. **Aplicativo para smartphone destinado à medição da irregularidade longitudinal em rodovias**. 2018. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- APS, M. **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – Internacional Friction Index para revestimentos asfálticos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- BARELLA, R. M. **Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- BERNUCCI, L. B., MOTA, L. M. G., CERATI, J. A. P. e SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros**. Petrobras. Abeda, Rio de Janeiro, RJ, 2010.
- BERTOLLO, S. A. M. **Considerações sobre a gerência de pavimentos urbanos em nível de rede**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.
- 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.
- CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019**. Brasília, 2019.
- DANIELESKI, M. L. **Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos: Aplicação à rede viária de Porto Alegre**. 2004. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2004.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Método de nível e mira para calibração de sistemas medidores de irregularidade tipo resposta**. Norma rodoviária. DNER-ES 173/86. Espírito Santo, 1986.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **O sistema gerencial de pavimentos do DNER**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Apoio Tecnológico. Rio de Janeiro, 2000.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006a.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de estudos de tráfego**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006c.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de gerência de pavimentos**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2011.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de pavimentos, 3.ed.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006b.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Norma DNIT 005/2003 - TER**: defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2003a.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Norma DNIT 006/2003 - PRO**: avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos: procedimento. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2003b.

DOUANGHACHANH, V. **The Development of a Simple Method for Network-wide Road Surface Roughness Condition Estimation and Monitoring Using Smartphone Sensors**. 2014. Tese de Doutorado, Tokyo Metropolitan University. Tokyo, Japão, 2014.

DUARTE, R. I. M. **Análise comparativa da irregularidade longitudinal por faixas de tráfego na rodovia ce-401 obtida por aplicativo para smartphones**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2018.

FILHO, E. M. **Estudo de granulometria para concretos asfálticos drenantes**. 2001, 163p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

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

GOOGLE EARTH. **[CE-401, Fortaleza – CE]**. [2020]. Disponível em: <<https://goo.gl/WPFc7c>>. Acesso em: 07 fev. 2020.

GOOGLE MAPS. **[CE-401, Fortaleza – CE]**. [2019]. Disponível em: <<https://goo.gl/WPFc7c>>. Acesso em: 11 out. 2019.

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

KARAMIHAS, S.M. SAYERS, M.W. The Little Book of Profiling. **Basis information about measuring an interpreting road profiles**. The Regent of the University of Michigan. 1998.

MACHADO, D. M. C. **Avaliação de normas de identificação de defeitos para fins de Gerência de Pavimentos Flexíveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Infra-Estrutura. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2013.

MARQUES, G. L. D. O. **Pavimentação**. Versão 2006, p. 06 – 07. Faculdade de Engenharia. Universidade de Juiz de Fora (UFJF), Minas Gerais, 2006.

MULITERNO, B. K., JUNIOR, F. M., PRAVIA, Z. M. C. **Avaliação da irregularidade longitudinal do pavimento sobre pontes usando acelerações medidas por smartphones**. Revista Transportes. Associação Nacional de Pesquisa e ensino em transportes. Publicado: 31 de agosto, 2019.

Pavetesting. **Pavetesting**. Vídeo(46s). Disponível em: <<https://www.pavetesting.com>>. Acesso em: 23 out 2019.

PEDER, M. A. D. **Avaliação da macrotextura do pavimento asfáltico de um trecho de rodovia localizada no noroeste do estado do Paraná**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

PEREIRA, A. H. P. **Caracterização acústica de pavimentos rodoviários e influência na emissão sonora**. Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2009/2010 – Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto. Portugal, 2010.

PINTO, J. I. B. R. **Caracterização superficial de pavimentos rodoviários**. 2003. Dissertação (Mestrado em Vias de Comunicação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2003.

RIBEIRO, Thiago Pinheiro. **Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 04. Ano 02, Vol. 01. pp 733-754, 2017.

SHOJI, E. S. **Desenvolvimento de um programa de sistema de gerência de pavimentos urbanos para cidades brasileiras de médio porte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

SILVA, C. F. S. C. e. **Análise de tensões em pavimentos a partir de modelo físico instrumentado.** 2014. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil). COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SPECHT, L. P., *et al.* **Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia** *Evaluation of pavement macrotexture by sand patch technique.* Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 10, p.30-38. Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí-RS. 2007.

The Face. **The Dipstick 2277 Road Profiler Operator's Manual.** Norfolk, Virginia. 2017.

ZHAO, Boyu; NAGAYAMA, Tomonori. **IRI Estimation by the Frequency Domain Analysis of Vehicle Dynamic Responses.** Procedia Engineering, v. 188, p. 1-9. Hongo-bunkyo, Tokyo, 2017.

WANG, W. e GUO, F. **RoadLab – Revamping road condition and road safety monitoring by crowdsourcing with smartphone app.** Transportation Research Board 95rd Annual Meeting, Washington D.C., U.S.A, 2016.

YAGI, K. **Preliminary report for IRI changes after KUMAMOTO earthquake Japan, by using Smartphone roughness measurement.** 2nd IRF Asia Regional Congress & Exhibition. 2016.