



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CARACTERIZAÇÃO DA TEXTURA DE SUPERFÍCIE RELACIONADA À  
SEGURANÇA AO TRÁFEGO EM RODOVIAS FEDERAIS DE SERGIPE**

**THAYNNÁ ALMEIDA DOS SANTOS BOMFIM**

São Cristóvão/SE  
2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

CARACTERIZAÇÃO DA TEXTURA DE SUPERFÍCIE RELACIONADA À  
SEGURANÇA AO TRÁFEGO EM RODOVIAS FEDERAIS DE SERGIPE

Thaynná Almeida dos Santos Bomfim  
Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Silva Albuquerque

São Cristóvão/SE  
2024

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Bomfim, Thaynná Almeida dos Santos  
B695c Caracterização da textura de superfície relacionada à  
segurança ao tráfego em rodovias federais de Sergipe /  
Thaynná Almeida dos Santos Bomfim ; orientador  
Fernando Silva Albuquerque. - São Cristóvão, 2024.  
114 f. : il.

Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) –  
Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Pavimentos - Defeitos. 2. Pavimentos de asfalto.  
3. Rodovias – Medidas de segurança. I. Fernando Silva  
Albuquerque Orient. II. Título.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE

MESTRADO THAYNNÁ ALMEIDA DOS SANTOS BOMFIM

---

APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE EM 28 DE  
FEVEREIRO DE 2024.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Fernando Silva Albuquerque  
Orientador (PROEC/UFS)

Profa. Dra. Rozana Rivas de Araujo  
Examinadora interna (PROEC/UFS)

Profa. Dra. Jeovanesa Regis Carvalho  
Examinadora externa (PROEC/UFS)

Prof. PhD Lélío Antônio Teixeira Brito  
Examinador externo (UFRGS)

## **AGRADECIMENTOS**

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos” (Provérbio 16:3).

Acima de tudo a Deus, sou extremamente grata por tudo, pelos caminhos que me traçou que me fizeram chegar onde eu estou e pelas pedras que me fizeram crescer e me deram a resiliência necessária para alcançar o que sempre sonhei. Por ter segurado a minha mão nos momentos de angústias, de lágrimas e também de conquistas. E, por sempre me proteger e me guiar, mesmo quando eu pensei que não houvesse mais chão para eu caminhar.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Silva Albuquerque, por quem tenho tamanha admiração, agradeço pela confiança, incentivo e apoio pertinentes. Obrigada por todo conhecimento transmitido, pela paciência, por todas as correções minuciosas, por cada cobrança e disponibilidade em me atender, que foram fundamentais para prosseguir com êxito essa pesquisa.

Aos meus pais, Shirley e Wellington, que preparam o meu caminho desde que nasci, foram os meus primeiros mestres. Vocês se sacrificaram, se dedicaram, se doaram, abdicaram de tempo e de sonhos para que eu pudesse conquistar os meus. Obrigada por tanto, essa conquista também é de vocês! A vocês, todo o meu amor.

A minha irmã, Francielle, a minha gratidão por estar sempre presente e sempre acreditar no meu potencial. Você é um exemplo pra mim.

Aos meus filhos de estimação, Nick e Simba, obrigada por tornar os meus dias mais leves e melhores. A pureza de vocês me inspira a ser melhor.

Ao meu namorado, Thales, a minha gratidão por sempre me apoiar em tudo, por estar sempre presente e sempre acreditar no meu potencial.

Aos todos os meus amigos da escola, da faculdade e do trabalho, em especial Kelly e Larissa por estarem comigo durante os dias de prova e de trabalhos da faculdade, de lágrimas, de angústia, de conquistas e de descontração para fugir um pouco da dura realidade de ser mestranda, a nossa força de uma apoiar e acreditar no potencial da outra fez total diferença. Gratidão a Alan por ter estado comigo em toda essa árdua caminhada até a dissertação, obrigada também por todo o companheirismo fora dos muros da universidade.

A todas as pessoas que de uma alguma forma me ajudaram a acreditar em mim, eu quero deixar um agradecimento eterno, porque sem elas não teria sido

possível, em especial ao técnico Bruno, por sempre ser disponível e me ajudar em qualquer situação que eu precisasse para os meus ensaios.

Ao DNIT, por fornecer dados imprescindíveis a realização dessa pesquisa e por sempre estarem disponíveis a sanar qualquer dúvida e qualquer informação necessária.

À Polícia Rodoviária Federal, por fornecer dados e a segurança adequada para realização dos ensaios em campo e por serem tão solícitos em todos os momentos. Obrigada por todo o cuidado e por fazerem de tudo para que eu conseguisse concluir todos os meus ensaios, sem vocês isso não seria possível.

## RESUMO

A aderência pneu-pavimento é uma das principais características no que se refere a segurança ao tráfego de veículos. Alguns dos fatores que influenciam diretamente nessa aderência é a textura superficial do pavimento e o afundamento de trilha de roda. A textura superficial é formada pela microtextura e macrotextura que são características essenciais para o atrito pneu-pavimento, principalmente em condição de pista molhada e com velocidades superiores a 50 km/h. Com o objetivo de avaliar as condições das rodovias federais do estado de Sergipe, a presente pesquisa realizou ensaios em 75 pontos da BR-101 e BR-235, para avaliar a macrotextura, microtextura e ATR (Afundamento de trilha de roda), através dos respectivos ensaios de Mancha de Areia, Pêndulo Britânico e Treliça Metálica. Como forma de correlacionar os resultados obtidos nos ensaios com diferentes equipamentos em um só índice foi utilizado o Índice Internacional de Atrito (*International Friction Index* – IFI). Através da classificação estabelecida pela ASTM (American Association for Testing and Materials) foi possível não só classificar mas também avaliar as condições de cada ponto analisado relacionando com variáveis como o tráfego, geometria da via, idade e tipo de revestimento. Dessa forma, observou-se que 60% dos trechos da BR-101 e 19% da BR-235 necessitam de algum tipo de intervenção relacionada à recomposição da microtextura, mas a principal causa dos acidentes nessas rodovias foi o alto volume de tráfego em segmentos urbanos. Além disso, foi possível propor modelos de previsão de desempenho ajustados para HS (altura de mancha de areia) e IFI capazes de estimar essas variáveis ao longo do tempo, projetando a deterioração temporal da textura do pavimento, e auxiliando os tomadores de decisão no planejamento de intervenções.

Palavras-chave: pavimento, aderência pneu-pavimento, microtextura, macrotextura, afundamento de trilha de roda, segurança no pavimento.

## **ABSTRACT**

The tire-pavement adherence is a key factor for traffic safety. Surface texture and wheel track rutting directly influence this adherence. Surface texture, comprising microtexture and macrotexture, plays a crucial role in tire-pavement friction, especially in wet conditions and speeds over 50 km/h. This study evaluated the conditions of federal highways in the state of Sergipe by conducting tests at 75 points on BR-101 and BR-235, assessing macrotexture, microtexture, and Wheel Rut Depths (RUT) through Sand Patch, British Pendulum, and Straightedge Gauge tests. The International Friction Index (IFI) was used to correlate results into a single index. ASTM classification helped not only categorize but also assess each analyzed point in relation to variables such as traffic, road geometry, age and wearing course type. It was observed that 60% of BR-101 segments and 19% of BR-235 require roadworks related to improvement of microtexture. However, the main cause of traffic accidents on these highways was the high traffic volume in urban segments. Additionally, predictive performance models adjusted for HS (texture depth) and IFI were proposed to estimate these variables over time, projecting the temporal deterioration of pavement texture and assisting decision-makers in roadworks planning.

Keywords: pavement, tire-pavement adherence, microtexture, macrotexture, rut depth, pavement safety.

## SUMÁRIO

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| LISTA DE TABELAS .....                                | 11        |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....                            | 12        |
| LISTA DE ABREVIACÕES .....                            | 14        |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....                               | 16        |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                             | <b>18</b> |
| 1.1. JUSTIFICATIVA .....                              | 20        |
| 1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA .....                      | 21        |
| 1.2.1. Objetivo Geral.....                            | 21        |
| 1.2.2. Objetivos Específicos .....                    | 21        |
| 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....                      | 21        |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                  | <b>22</b> |
| 2.1. MEDIDAS DE TEXTURA.....                          | 23        |
| 2.1.1. Avaliação da Macrotextura .....                | 24        |
| 2.1.1.1. Mancha de Areia .....                        | 24        |
| 2.1.1.2. Mancha de Graxa .....                        | 26        |
| 2.1.1.3. <i>Mean Profile Deapth</i> (MPD).....        | 27        |
| 2.1.1.4. <i>Circular Track Meter</i> – CT Meter ..... | 27        |
| 2.1.1.5. <i>Mini Texture Meter</i> .....              | 28        |
| 2.1.1.6. Drenabilidade .....                          | 29        |
| 2.1.2. Avaliação da Microtextura e Atrito.....        | 31        |
| 2.1.2.1. Estático .....                               | 31        |
| a) Pêndulo Britânico.....                             | 31        |
| b) <i>Dynamic Friction Tester</i> .....               | 32        |
| 2.1.2.2. Roda Oblíqua .....                           | 33        |
| a) <i>Mu-Meter</i> .....                              | 33        |
| b) <i>Stradograph</i> .....                           | 34        |
| c) <i>Odoliograph</i> .....                           | 35        |
| d) <i>SCRIM</i> .....                                 | 35        |
| 2.1.2.3. Roda Parcialmente Bloqueada.....             | 36        |
| a) BV-11 .....                                        | 36        |
| b) SFT.....                                           | 37        |
| c) Grip Tester.....                                   | 38        |
| 2.2. DEFORMAÇÃO PLÁSTICA EM TRILHAS DE RODAS.....     | 39        |
| 2.2.1. Treliça Metálica .....                         | 39        |
| 2.2.2. Perfilômetro a Laser .....                     | 40        |

|           |                                                       |            |
|-----------|-------------------------------------------------------|------------|
| 2.3.      | EXPERIÊNCIAS NA AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA .....          | 40         |
| <b>3.</b> | <b>MÉTODOS DE ANÁLISE.....</b>                        | <b>44</b>  |
| 3.1.      | DEFINIÇÃO DOS TRECHOS ESTUDADOS .....                 | 45         |
| 3.2.      | DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE DE AMOSTRAS.....              | 46         |
| 3.4.      | definição dos equipamentos .....                      | 49         |
| 3.5.      | Ensaio.....                                           | 50         |
| 3.5.1.    | Ensaio de Mancha de Areia.....                        | 50         |
| 3.5.2.    | Ensaio de Pêndulo Britânico .....                     | 54         |
| 3.5.3.    | Ensaio de ATR .....                                   | 59         |
| 3.6.      | TRATAMENTO E ANÁLISE CRÍTICA DOS DADOS.....           | 60         |
| 3.6.1.    | Diagnóstico Funcional .....                           | 61         |
| 3.6.2.    | Correlação de Dados.....                              | 63         |
| 3.6.3.    | Modelos de Previsão de Desempenho.....                | 63         |
| <b>4.</b> | <b>RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>                    | <b>70</b>  |
| 4.1.      | ANÁLISE DOS ENSAIOS DE CAMPO .....                    | 70         |
| 4.1.1.    | Altura de Mancha de Areia (HS) .....                  | 77         |
| 4.1.2.    | Valor de Resistência à Derrapagem (VRD).....          | 80         |
| 4.1.3.    | Afundamento de Trilha de Roda (ATR) .....             | 82         |
| 4.1.4.    | <i>International Friction Index (IFI)</i> .....       | 82         |
| 4.2.      | ANÁLISE DE ADERÊNCIA.....                             | 86         |
| 4.2.1.    | Correlações de Pearson .....                          | 94         |
| 4.2.2.    | Influência da Textura na Incidência de Acidentes..... | 96         |
| 4.3.      | MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO .....               | 100        |
| <b>5.</b> | <b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>                    | <b>105</b> |
| 5.1.      | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....                | 108        |
|           | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>               | <b>109</b> |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1: Classificação da textura de um pavimento .....                                                             | 24  |
| Tabela 2: Classificação da Mancha de Areia .....                                                                     | 25  |
| Tabela 3 - Classificação do VRD .....                                                                                | 32  |
| Tabela 4 - Faixas limites de valores de IFI (F60) 4ª tentativa.....                                                  | 41  |
| Tabela 5 – Segmentos escolhidos para BR-101.....                                                                     | 47  |
| Tabela 6 - Segmentos escolhidos para BR-235.....                                                                     | 48  |
| Tabela 7 – Classes da Macrotextura .....                                                                             | 54  |
| Tabela 8 – Classes de resistência a derrapagem .....                                                                 | 59  |
| Tabela 9: Valores das constantes a e b para cálculo de $S_p$ .....                                                   | 61  |
| Tabela 10: Valores de S, A, B e C de acordo com os equipamentos que foram calibrados para obtenção de $F_{60}$ ..... | 62  |
| Tabela 11: Classificação do IFI (F60) .....                                                                          | 63  |
| Tabela 12: Tráfego da BR-101 .....                                                                                   | 64  |
| Tabela 13: Tráfego da BR-235 .....                                                                                   | 65  |
| Tabela 14: Características da BR-101.....                                                                            | 65  |
| Tabela 15: Características da BR-235.....                                                                            | 67  |
| Tabela 16: Número de acidentes ao longo dos anos na BR-101 .....                                                     | 68  |
| Tabela 17: Número de acidentes ao longo dos anos na BR-235 .....                                                     | 69  |
| Tabela 18: Resultados dos ensaios da BR-101 .....                                                                    | 71  |
| Tabela 19: Classificação dos pontos da BR-101 .....                                                                  | 73  |
| Tabela 20: Resultado dos ensaios da BR-235.....                                                                      | 75  |
| Tabela 21: Classificação dos pontos da BR-235 .....                                                                  | 76  |
| Tabela 22: IFI calculado para a BR- 101 .....                                                                        | 83  |
| Tabela 23: IFI calculado para a BR-235 .....                                                                         | 84  |
| Tabela 24: Dados de aderência, características da via e número de acidentes da BR-101.....                           | 87  |
| Tabela 25: Dados de aderência, características da via e número de acidentes da BR-235.....                           | 89  |
| Tabela 26: Correlação entre as variáveis estudadas para a BR-101 .....                                               | 94  |
| Tabela 27: Correlação entre as variáveis estudadas para a BR-235 .....                                               | 95  |
| Tabela 28: Dados para regressão linear das BR-101 e BR-235 .....                                                     | 101 |
| Tabela 29: Dados do modelo de previsão de desempenho do HS .....                                                     | 103 |
| Tabela 30: Dados do modelo de previsão de desempenho do IFI .....                                                    | 104 |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Diferença entre microtextura e macrotextura do pavimento.....                       | 23 |
| Figura 2 - Aparato utilizado para realização do ensaio de mancha de areia. ....                | 25 |
| Figura 3 - Aparatos utilizados para realização do ensaio de mancha de graxa.....               | 26 |
| Figura 4 - Medida da profundidade média do perfil.....                                         | 27 |
| Figura 5 – Circular Track Meter (CT Meter) .....                                               | 28 |
| Figura 6 – Mini Texture Meter.....                                                             | 29 |
| Figura 7 - Drenabilidade .....                                                                 | 30 |
| Figura 8 – Drenômetro LTP .....                                                                | 30 |
| Figura 9 – Pêndulo Britânico .....                                                             | 31 |
| Figura 10 – Dynamic Friction Tester .....                                                      | 33 |
| Figura 11 – Mu-Meter .....                                                                     | 34 |
| Figura 12 - Stradograph (a) vista geral do equipamento (b) detalhe da roda oblíqua.....        | 35 |
| Figura 13 - Odoligraph.....                                                                    | 35 |
| Figura 14 - SCRIM.....                                                                         | 36 |
| Figura 15 – BV-11 .....                                                                        | 37 |
| Figura 16 – Surface Friction Tester (SFT) .....                                                | 37 |
| Figura 17 – Grip Tester .....                                                                  | 38 |
| Figura 18 – Treliza metálica para medição das flechas da trilha de roda.....                   | 39 |
| Figura 19 - Perfilômetro a laser .....                                                         | 40 |
| Figura 20: Valores de IFI, (Sp) versus (F60) em função de limites sugeridos na 4ª tentativa... | 42 |
| Figura 21 – Fluxograma das etapas da pesquisa .....                                            | 44 |
| Figura 22 - Trechos que correspondem a BR-101 e BR-235 em Sergipe .....                        | 46 |
| Figura 23: Localizações dos pontos escolhidos para análise na BR-101.....                      | 48 |
| Figura 24: Localizações dos pontos escolhidos para análise na BR-235.....                      | 49 |
| Figura 25 – Aparatos para o ensaio de Mancha de Areia .....                                    | 51 |
| Figura 26 – Pincel para limpeza do pavimento .....                                             | 51 |
| Figura 27 – Etapas para rasar a areia do recipiente .....                                      | 52 |
| Figura 28 – Aplicação e espalhamento da areia no pavimento .....                               | 53 |
| Figura 29 – Medidas de diâmetro de Mancha de Areia.....                                        | 53 |
| Figura 30 – Pêndulo Britânico .....                                                            | 55 |
| Figura 31 – Parafusos calantes do Pêndulo Britânico.....                                       | 56 |
| Figura 32 – Ajuste do zero do Pêndulo Britânico .....                                          | 56 |
| Figura 33 – Ajuste do comprimento do slide do Pêndulo Britânico .....                          | 57 |
| Figura 34 – Aplicação de água até o pavimento ficar drenando.....                              | 57 |
| Figura 35 – Medição da temperatura do pavimento.....                                           | 58 |
| Figura 36 – Levantamento da alça do Pêndulo Britânico .....                                    | 58 |
| Figura 37 – Treliza metálica .....                                                             | 60 |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 38: Classificação dos segmentos da BR-101 quanto à textura superficial .....          | 74 |
| Figura 39: Classificação dos segmentos da BR-235 quanto à textura superficial .....          | 77 |
| Figura 40: Distribuição da classificação do HS da BR-101 .....                               | 78 |
| Figura 41: Distribuição da classificação do HS da BR-235 .....                               | 79 |
| Figura 42: Distribuição da classificação do VRD da BR-101.....                               | 81 |
| Figura 43: Distribuição da classificação do VRD da BR-235.....                               | 81 |
| Figura 44: Distribuição de frequência do IFI da BR-101 .....                                 | 85 |
| Figura 45: Distribuição de frequência do IFI da BR-235 .....                                 | 86 |
| Figura 46: Gráfico unifilar da distribuição espacial das variáveis estudadas na BR-101 ..... | 90 |
| Figura 47: Gráfico unifilar da distribuição espacial das variáveis estudadas na BR-235 ..... | 93 |
| Figura 48: Relação de textura satisfatória com número de acidentes da BR-101 .....           | 96 |
| Figura 49: Relação de textura insatisfatória com número de acidentes da BR-101 .....         | 97 |
| Figura 50: Relação de textura satisfatória com número de acidentes da BR-235 .....           | 98 |
| Figura 51: Relação de textura insatisfatória com número de acidentes da BR-235 .....         | 99 |

## LISTA DE ABREVIATÖES

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - *American Association for Testing and Materials*

ATR – Afundamento de Trilha de Roda

BPN – *British Pendulum Number*

BDTD – Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações

CAUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CCD – *Charge Coupled Device*

CCP – Concreto de Cimento Portland

CNT – Confederação Nacional do Transporte

CT – *Circular Track*

DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito de Sergipe

DFT – *Dynamic Friction Tester*

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes

HSM - *Highway Safety Manual*

IFI - *International Friction Index*

IRI -  ndice de Irregularidade Longitudinal Internacional

KM - Quil metro

LTP – Laboratório de Tecnologia de Pavimenta o

LTT – Laboratório de Topografia e Transportes

MPD – *Mean Profile Depth*

NBR – Norma Brasileira

PIARC – *Permanent International Association of Road Congress - World Road*

*Association*

PNCT – Plano Nacional de Contagem de Tráfego

PR - Paraná

PRF – Polícia Rodoviária Federal

*RMS – Root Mean Square of Texture Profile*

*SCRIM – Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine*

*SFT – Surface Friction Tester*

TRI – Trilho de Roda Interno

TRE – Trilho de Roda Externa

*TRRL – Transport and Road Research Laboratory*

TSD – Tratamento Superficial Duplo

UFS – Universidade Federal de Sergipe

VMD – Volume Médio Diário

VRD – Valor de Resistência à Derrapagem

## LISTA DE SÍMBOLOS

$H_s$  – Profundidade média da macrotextura

$V$  – Volume da amostra

$D$  – Diâmetro médio da mancha de areia

$H_G$  – Altura média da mancha de graxa

$A$  – Área do retângulo da mancha de graxa

$GN$  – Coeficiente de atrito

$F_v$  – Força vertical

$F_h$  – Força horizontal

$S_p$  – constante de velocidade

$T_x$  – parâmetro de textura inferido pelo equipamento

$a$  e  $b$  – constantes determinadas em função do equipamento utilizado

$FR_{60}$  – valor do atrito do equipamento convertido à velocidade de 60km/h

$FRS$  – valor de atrito medido à velocidade de deslizamento  $S$

$S$  – velocidade do deslizamento do equipamento em km/h

$F_{60}$  – valor do atrito harmonizado para velocidade de 60km/h

$A$ ,  $B$  e  $C$  – constantes de calibração de acordo com os equipamentos utilizados

$Z$  – abscissa da normal padrão

$p$  – estimativa da proporção de classes

$d$  – margem de erro

$N'$  – tamanho da população

$N$  – variável codificada referente ao  $N_{anual}$  (entre -1 e 1)

$N_{\text{anual}}$  - Número de repetições anual do eixo padrão de 8,2 tf para o segmento avaliado

B0 a B7 – constantes determinadas pelo modelo

I – variável codificada referente à idade de capa do pavimento

REV – variável codificada referente ao tipo de revestimento do pavimento

$R^2$  - coeficiente de determinação

## 1. INTRODUÇÃO

A falta de segurança nas estradas brasileiras é uma grande preocupação, principalmente porque o modal rodoviário tem parcela expressiva na matriz de transporte.

A partir de dados da CNT (2022), observa-se que houve um aumento de 1,7% no número de acidentes de trânsito e 2% no número de mortes no ano de 2021. Para o ano de 2022 houve um aumento de 0,8% no número de mortes com relação ao ano anterior, sendo os meses de férias julho e dezembro os que registraram os maiores índices.

O acidente de trânsito raramente é causado por um único fator, pois é um evento complexo que envolve inúmeras variáveis. Noyce *et al.* (2005), cita como variáveis o motorista através do seu comportamento, o veículo e suas características e a via no que se refere a condição do pavimento, além do meio ambiente, cada uma delas contendo mais subvariáveis.

Melhorias na segurança viária são essenciais para reduzir o número de acidentes. Fatores que vem se discutindo há tempos são as características do pavimento, uma delas em especial que é a segurança à derrapagem sob condições climáticas e de degradação (MATTOS, 2014).

Por um lado, o excesso de carga, a falta de investimento e o aumento progressivo na quantidade de veículos em circulação são fatores que contribuem para a degradação do pavimento (SANTOS, 2016).

Por outro lado, as características das superfícies de pavimentos, ou seja, da microtextura e da macrotextura, são fatores que estão relacionados com a resistência à derrapagem.

A microtextura está relacionada à capacidade dos agregados resistirem ao desgaste e à rugosidade superficial do pavimento que afetam a adesão (GURGEL, 2019). Essas rugosidades são as que fazem com que as partículas pareçam lisas ou ásperas ao toque. Portanto, a magnitude da microtextura depende da rugosidade inicial na superfície do agregado e da habilidade do agregado em reter esta rugosidade contra a ação do polimento do tráfego (FERREIRA, 2002).

Outro fator que caracteriza o revestimento quanto a sua rugosidade é a composição mineralógica (AQUINO *et al.*, 2022). Sua avaliação pode ser em função dos valores medidos com o equipamento Pêndulo Britânico e expressos em termos

de Valor de Resistência à Derrapagem (VRD), seguindo as recomendações da ASTM E303 (2022).

A resistência à derrapagem pode ser utilizada para avaliar a microtextura. Ela nada mais é do que a força contrária ao movimento na interface pneu-pavimento (sobretudo na interface dos agregados de superfície) desenvolvido durante a derrapagem em pista molhada (ASTM E 303-2013). Ela é essencial para a segurança ao tráfego, pois fornece aos pneus a aderência necessária para que o veículo consiga frear em situações de emergência (SILVA, 2008).

A macrotextura refere-se à textura de superfície do pavimento numa escala maior que a microtextura. Ela está associada aos vazios entre as partículas de agregado do revestimento. A macrotextura inicial é determinada pelo tamanho, forma e graduação dos agregados graúdos usados na construção do pavimento, bem como nas técnicas utilizadas na execução da camada superficial (FERREIRA, 2002).

Um dos grandes problemas da macrotextura é que quanto mais ela é aberta resulta em ruídos que são desconfortáveis ao usuário e leva a um maior desgaste dos pneus. Já uma macrotextura muito fechada favorece a formação de película d'água na superfície do pavimento, aumentando o risco da aquaplanagem, porque diminui os canais de escape para a água na interação pneu-pavimento (RODRIGUES, 2006).

A diferença entre a microtextura e macrotextura está no comprimento de ondas das duas. A microtextura tem o comprimento de onda de 0,5 mm, enquanto a macrotextura tem cerca de 0,5 mm a 50mm (BERNUCCI *et al.*, 2022). Enquanto a microtextura afeta a área de aderência entre o agregado e a borracha do pneu e controla o nível de atrito em baixas velocidades, a macrotextura tem um efeito maior na histerese e ajuda a fornecer um canal de drenagem para que a água escoe (LU e STEVEN, 2008).

Uma outra característica da superfície do pavimento que está relacionada à segurança ao tráfego é o afundamento de trilha de roda. O afundamento de trilha de roda (ATR) é um afundamento por cisalhamento de uma ou mais camadas do pavimento, ou seja, é uma depressão do revestimento que se constitui no local onde ocorre a passagem de cargas que muitas vezes só é percebida após a ocorrência de chuva, devido ao preenchimento dos sulcos (DNIT, 2003).

O ATR faz com que haja redução da segurança do pavimento ao longo do tempo, pois a formação dos sulcos aumenta o risco da hidroplanagem durante a ocorrência de precipitação (PINTO e PREUSSLER, 2002).

Portanto, é essencial um estudo sobre as causas que influenciam na segurança ao tráfego, como as características de superfície do pavimento (entre elas a microtextura, a macrotextura e o ATR). Acredita-se que esses fatores são as principais características técnicas que a Engenharia de Pavimentos pode controlar com o objetivo de melhoria das condições viárias e redução do número de acidentes de tráfego.

### 1.1. JUSTIFICATIVA

Fazendo uma análise sobre os acidentes em vias do Estado de Sergipe, nota-se que houve um aumento gradual ao longo dos anos. De 2019 para 2020 houve um aumento de 102%. Já de 2020 para 2021 esse crescimento foi para 108%, fechando o período de 2021 para 2022 com crescimento de 122%. Como caracterização desses acidentes, tem-se que a maior ocorrência aconteceu em pavimentos asfálticos, além de que 15% desses acidentes aconteceram em condições climáticas com cerração ou chuvosas (DETRAN, 2023).

A rodovia que se destacou por um maior número de acidentes no Brasil e em Sergipe é a BR-101, que contabilizou um total de 9.079 acidentes, sendo 232 somente em Sergipe. Chegando a um total de 28 óbitos apenas nesse estado (CNT, 2022).

Tendo em vista isso, a pesquisa estudou os aspectos na superfície do pavimento que estão relacionados às causas dos acidentes.

Entendendo-se a contextualização apresentada no item anterior, sabe-se que aspectos ligados à textura de um pavimento estão fortemente relacionados à segurança viária. O índice de atrito pneu-pavimento se correlaciona com as diferentes composições texturais presentes nos pavimentos.

Adicionalmente, quando o veículo trafega em pista molhada, são geradas pressões neutras na área de contato pneu-pavimento. Quando o veículo perde o atrito com a pista ocorre o fenômeno da hidroplanagem. Esse processo é evitado pelo controle de algumas características texturais da superfície do pavimento, quais sejam: macrotextura, microtextura e deformações plásticas.

Os resultados das avaliações da microtextura, macrotextura e ATR fornecem uma boa base de informações sobre a segurança ao tráfego. Portanto, uma melhor condição de textura superficial, e conseqüentemente de atrito, influenciam no menor índice de acidentes, justificada pela aderência pneu-pavimento recomendada pelos órgãos responsáveis.

Os fatores volume e tempo de operação ao tráfego, tipo de revestimento e geometria da via certamente também influenciam diretamente na condição de aderência dos pneus ao pavimento, e a sua melhor gerência permite o melhor controle de manutenções.

## 1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA

### 1.2.1. Objetivo Geral

Analisar as condições de superfície de pavimentos que influenciam diretamente na segurança no tráfego nas rodovias federais de Sergipe (BR-101 e BR-235).

### 1.2.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar e classificar a textura superficial e atrito pneu-pavimento nos trechos da BR-101 e BR-235;
- Verificar como o tráfego, idade do pavimento e tipo de revestimento influenciam na textura superficial e atrito pneu-pavimento;
- Analisar a influência da textura superficial e atrito pneu-pavimento na incidência de acidentes nos trechos estudados;
- Analisar a contribuição da deformação permanente no risco de acidentes para os segmentos avaliados.

## 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente pesquisa está dividida em 5 capítulos:

O capítulo 1 introduz o tema da dissertação no contexto da segurança viária e apresenta os objetivos do estudo.

O capítulo 2 apresenta uma pesquisa bibliográfica sobre os ensaios de medidas de textura e de atrito. Neste capítulo são abordados diferentes tipos de ensaio para medida de macrotextura, microtextura e ATR, além de estudos de caso sobre o tema. Para a Revisão Bibliográfica foram utilizadas diferentes bases de pesquisa: Google Acadêmico, BDTD, Portal Capes, Science.gov e Scopus, sendo que as strings

utilizadas foram: pavimento, macrotextura, microtextura, pêndulo britânico, ATR, mancha de areia, aderência pneu-pavimento, segurança no pavimento, atrito do pavimento, modelo.

O capítulo 3 aborda as etapas metodológicas que foram realizadas na presente pesquisa. Dentre elas está o conjunto de análise para determinação dos trechos que foram estudados, o cálculo para determinação da quantidade de amostra que melhor representasse a população, a definição de cada equipamento que foi utilizado, os procedimentos de cada ensaio que foi realizado e as informações adicionais que foram obtidas com DNIT e PRF.

O capítulo 4 analisa os resultados encontrados nos ensaios realizados nos trechos selecionados.

O capítulo 5, são apresentadas as conclusões obtidas através da análise dos resultados e sugestões para pesquisas futuras sobre o tema.

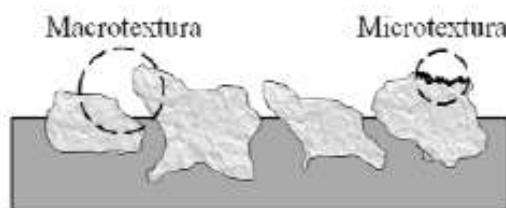
## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O pavimento é uma estrutura de multicamadas que servem para distribuir as cargas para o solo, sendo o revestimento a primeira delas (Bernucci *et al.*, 2022). Se o revestimento não estiver adequado pode ocasionar problemas na segurança ao tráfego. Um desses critérios que deve ser levado em consideração é o atrito.

O atrito nada mais é do que a aderência entre o pneu e o pavimento que assegura a dirigibilidade do veículo (RODRIGUES, 2006). A aderência pneu-pavimento é determinada pela textura que o pavimento possui. A microtextura e macrotextura são condições que influenciam nessa condição.

Mattos (2009), explica que a microtextura está relacionada a superfície do agregado, ou seja, as propriedades mineralógicas do agregado. Já a macrotextura está relacionada a rugosidade apresentada entre os agregados. Essa propriedade determina como está a capacidade drenante da superfície do pavimento e se o mesmo corre risco de ocorrer o fenômeno da hidroplanagem. Na figura 1, é apresentada a diferença entre a microtextura e macrotextura.

Figura 1 - Diferença entre microtextura e macrotextura do pavimento



Fonte: Mattos (2009).

Outro fator para Pinto e Preussler (2002) que acarreta na perda de desempenho é o afundamento de trilha de roda. Essa é uma deformação permanente que se caracteriza pela formação de desníveis na superfície do pavimento acarretando em irregularidades e consequente perda das condições de conforto e rolamento. Também pode ocasionar o acúmulo de água e a diminuição do atrito entre pneu e pavimento gerando inseguranças aos usuários.

Quando a superfície do pavimento se encontra seca, observa-se a situação em que não há riscos de falta de aderência, pois há um maior contato entre o pneu e o pavimento. Portanto, situações em que a superfície do pavimento está molhada é um fator de risco, visto que a presença de água representa uma barreira ao contato, podendo acarretar derrapagem (FERREIRA, 2002).

Mattos (2009) define que o fenômeno de hidroplanagem ocorre quando o pneu do veículo perde totalmente o contato com a superfície do pavimento devido à lâmina d'água existente entre o pneu e a superfície do pavimento. Nesse fenômeno as forças exercidas pelo pneu são superadas pelas forças hidrodinâmicas atuantes, fazendo com que o pneu flutue sobre a água e o motorista perca totalmente o controle do veículo.

A resistência a derrapagem oferecida por um pavimento é resultado do atrito gerado entre o contato do pneu e pavimento. Portanto o atrito é a força que resiste ao movimento relativo entre esses dois corpos (NOYCE *et al.*, 2005).

## 2.1. MEDIDAS DE TEXTURA

A textura do pavimento é um dos aspectos da aderência que é o principal foco de estudos e análises de especialistas. A tabela 1 apresenta a classificação da textura, segundo a PIARC (*Permanent International Association of Road Congress - World Road Association*) que depende do comprimento de onda ou distância entre dois picos

ou depressões da superfície. Enquanto a megatextura e a irregularidade interferem mais na dinâmica veicular e no conforto ao rolamento dos veículos, a macrotextura e microtextura está relacionada ao atrito pneu-pavimento e segurança ao tráfego. A microtextura depende da superfície e aspereza dos agregados, e a macrotextura, da rugosidade formado pelo conjunto de agregados (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Tabela 1: Classificação da textura de um pavimento

| Classificação da textura | Faixa de comprimento de onda                  |
|--------------------------|-----------------------------------------------|
| Microtextura             | $\lambda < 0,5 \text{ mm}$                    |
| Macrotextura             | $0,5 \text{ mm} \leq \lambda < 50 \text{ mm}$ |
| Megatextura              | $50 \text{ mm} \leq \lambda < 500 \text{ mm}$ |
| Irregularidade           | $0,5 \text{ m} \leq \lambda < 50 \text{ m}$   |

Fonte: Bernucci *et al.* (2022).

Algumas das medidas de textura que serão analisadas podem avaliar conjuntamente ou separadamente a macrotextura e a microtextura do pavimento.

### 2.1.1. Avaliação da Macrotextura

#### 2.1.1.1. Mancha de Areia

A técnica de mancha de areia, também conhecida como *Sand Patch* é projetada para fornecer um valor médio de profundidade apenas da macrotextura do revestimento e não são influenciadas pelas características da microtextura do pavimento (ASTM E-965, 2019).

Segundo Aps (2006), o procedimento consiste em espalhar um volume de areia conhecido  $25.000 \text{ mm}^3$  de modo a preencher os vazios da textura superficial do pavimento, obtendo uma área final aproximadamente circular. Dessa área são retiradas as medidas do diâmetro em quatro diferentes direções e calcula-se o diâmetro médio. A altura é expressa conforme a expressão:

$$H_s = \frac{4*V}{\pi*D^2} \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde:

$H_s$ = profundidade média da macrotextura (mm)

$V = 25000 \text{ mm}^3$

$D$ = diâmetro médio da mancha de areia (mm)

O conhecimento da profundidade da macrotextura do pavimento serve como uma ferramenta na caracterização de sua textura através da classificação de acordo com a tabela 2. Quando usado com outros métodos em conjunto, os valores podem determinar o atrito da superfície e para avaliar a adequação dos materiais de pavimentação ou técnicas de acabamento (ASTM E-965, 2019).

Tabela 2: Classificação da Mancha de Areia

| Classificação                   | HS (mm)            |
|---------------------------------|--------------------|
| Muito Fina ou Muito Fechada     | $HS < 0,20$        |
| Fina ou Fechada                 | $0,20 < HS < 0,40$ |
| Média                           | $0,40 < HS < 0,80$ |
| Grosseira ou Aberta             | $0,80 < HS < 1,20$ |
| Muito Grosseira ou Muito Aberta | $HS > 1,20$        |

Fonte: DNIT (2006).

A forma, o tamanho e a distribuição de partículas de agregado de um pavimento são características de textura não abordadas neste procedimento, portanto este método não se destina a fornecer uma avaliação completa das características de textura da superfície do pavimento (ASTM E-965, 2019). Contudo, é uma ferramenta que consegue avaliar a macrotextura de forma tridimensional, diferentemente da maioria dos demais métodos que avalia em duas dimensões. Na figura 2, são apresentados todos os equipamentos necessários para realização do ensaio.

Figura 2 - Aparato utilizado para realização do ensaio de mancha de areia.



Fonte: Specht *et al.* (2007).

#### 2.1.1.2. Mancha de Graxa

O ensaio de Mancha de graxa também conhecido como Grease Patch é uma variação do método de Mancha de areia, sendo mais utilizado em pavimentos aeroportuários. O objetivo é o mesmo, calcular o valor médio da profundidade através do preenchimento de vazios da superfície do pavimento (APS, 2006).

Ainda de acordo com Aps (2006), o procedimento desse ensaio consiste demarcar uma área com duas fitas adesivas paralelas a uma distância de 10 cm e uma terceira fita fechando um dos extremos. Com a superfície limpa, é passado um rodo com graxa, preenchendo os vazios da superfície e dessa forma, formando uma área final retangular. Mede-se as dimensões e é calculado a área do retângulo para descobrir a profundidade média, através da fórmula:

$$H_G = \frac{V}{A} \quad (\text{Eq. 02})$$

Onde:

$H_G$  = altura média da mancha de graxa (mm)

$V = 16000 \text{ mm}^3$

$A$  = área do retângulo da mancha de graxa (mm)

Na figura 3, são apresentados os aparatos utilizados no ensaio de mancha de graxa.

Figura 3 - Aparatos utilizados para realização do ensaio de mancha de graxa

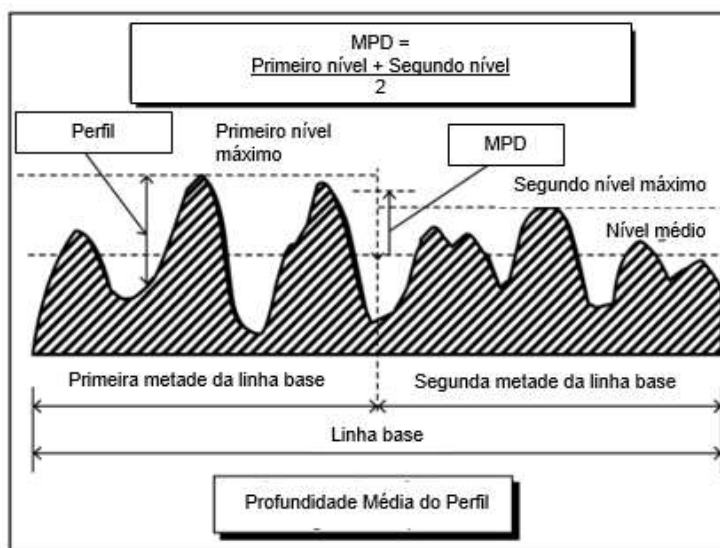


Fonte: Wambold e Henry (2002).

### 2.1.1.3. Mean Profile Deapth (MPD)

O MPD abrange o cálculo da profundidade média do perfil através de um laser de alta frequência, cada segmento tem um comprimento base de 100 mm, esse segmento é dividido ao meio e a altura do pico mais alto em cada meio segmento é determinada. Na média dessas alturas obtém-se o chamado MPD, como mostra a figura 4. Os resultados obtidos são úteis na previsão da dependência da velocidade de atrito do pavimento molhado (ASTM E-1845, 2016).

Figura 4 - Medida da profundidade média do perfil



Fonte: Adaptado de ASTM E-1845 (2016)

A diferença entre o *Mean Profile Deapth* e o ensaio de mancha de areia, é que o MPD é uma medida bidimensional e obtida continuamente no pavimento, de acordo com Mendonça (2014).

Porém, existe o cálculo do ERS que transforma o MPD em valores que podem ser correlacionados ao HS da mancha de areia, a ASTM E-1845 (2016) trás a seguinte equação de transformação:

$$ERS = 0,2 - 0,8 * MPD \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde, MPD e ERS são expressos em mm.

### 2.1.1.4. Circular Track Meter – CT Meter

O medidor CT consiste em um dispositivo de carga acoplada (CCD), sensor de

deslocamento a laser montado em um braço que gira no sentido horário em uma elevação fixa da superfície que está sendo medida. O deslocamento segue um movimento circular na pista com um diâmetro de 284 mm (ASTM E-2157, 2019).

O equipamento a laser mede o perfil do pavimento de uma área circular. Esse perfil é dividido em oito arcos e a profundidade média do perfil (MPD) é a média determinada por cada uma das áreas formadas. O sensor mede a profundidade da macrotextura vertical e o software do medidor fornece os valores da raiz quadrada média (RMS) dos perfis da macrotextura (ASTM E-2157, 2019). Na figura 5, pode-se observar o equipamento CT Meter.

Figura 5 – Circular Track Meter (CT Meter)



Fonte: Hanson e Prowell (2004)

#### 2.1.1.5. *Mini Texture Meter*

O *mini texture meter* foi desenvolvido pelo British Transport and Road Research Laboratory e é um dos pioneiros nas técnicas utilizando lasers. Esse método é de avaliação de textura que procura minimizar a interferência humana nos ensaios (GONÇALVES, 2020).

É um equipamento manual, usado para medir a textura da superfície de rodovias, aeroportos e calçadas, cuja velocidade de operação é a de uma caminhada, variando entre 3 e 6 km/h. Ele funciona projetando um laser para examinar a superfície do pavimento e estimar a profundidade da textura do pavimento. Essa técnica de varredura óptica de alta velocidade sem contato usa uma faixa estroboscópica de luz

com alto conteúdo de infravermelho para gerar gráficos de sombra (APS, 2006). A figura 6 apresenta o equipamento de Mini Texture Meter.

Figura 6 – Mini Texture Meter



Fonte: Wambold e Henry (2002).

#### 2.1.1.6. Drenabilidade

Este método de teste avalia a conectividade da textura no que se refere a capacidade drenante do pavimento através de seus vazios superficiais e subterrâneos. Fornece dessa forma uma medida da capacidade do pavimento para aliviar a pressão da face dos pneus dos veículos e uma indicação do potencial de aquaplanagem em condições de chuva (ASTM E-2380, 2019).

Trata-se de um dispositivo cilíndrico transparente com temporizador eletrônico, que cronometra quanto tempo uma quantidade conhecida de água, sob efeito gravitacional, leva para escoar por vazios na textura do pavimento. Um tempo de escoamento mais rápido indica que pode existir uma película de água mais fina entre o pneu e o pavimento, portanto uma maior fricção da superfície do pneu com o pavimento. Ou seja, quanto menor o tempo que leva para a água escoar, menor a pressão da água sobre o pneu (APS, 2006). A figura 7 mostra o ensaio de drenabilidade no pavimento.

Figura 7 - Drenabilidade



Fonte: Ferreira *et al.* (2020)

O drenômetro LTP-EPUSP é um equipamento desenvolvido no Brasil e serve para medir a drenabilidade do pavimento. O ensaio consiste colocar um cilindro plástico transparente, de volume conhecido, que é acoplado em um orifício circular de 5 cm de diâmetro em contato com a superfície do pavimento. O resultado fornece o tempo de escoamento ou de vazão da água escoada (APS, 2006). A figura 8 apresenta a realização do ensaio de drenabilidade com o Drenômetro LTP.

Figura 8 – Drenômetro LTP



Fonte: Aps (2006).

## 2.1.2. Avaliação da Microtextura e Atrito

### 2.1.2.1. Estático

#### a) Pêndulo Britânico

Este método consiste em avaliar a resistência a derrapagem através de um pêndulo com um controle deslizante de borracha padrão, que simula um pneu passando pelo pavimento previamente umedecido, para medir as propriedades de atrito de um pavimento pela sua perda de energia decorrente desse movimento (ASTM E-303, 2022 e SOUSA, 2021).

Esse equipamento é portátil e de fácil utilização. Tem como desvantagem o fato de não medir o atrito e apresentar um comportamento não confiável em texturas mais grossas (SOUSA, 2021). Na figura 9 é apresentado o Pêndulo Britânico.

Figura 9 – Pêndulo Britânico



Fonte: Specht *et al.* (2007).

Este método de teste fornece uma medida que se relaciona a propriedade de fricção do pavimento, portanto relacionado a microtextura da superfície do mesmo. Ao fim do ensaio, após o atrito sobre a superfície induzir o pêndulo a empurrar a haste, o equipamento apresenta o valor de resistência a derrapagem (VRD) de um pneumático padrão. (ASTM E-303, 2022).

Após encontrar o VRD é possível fazer a classificação da microtextura através da tabela 3.

Tabela 3 - Classificação do VRD

| <i>Classificação</i>     | <i>VRD – Valor de Resistência à derrapagem</i> |
|--------------------------|------------------------------------------------|
| Perigosa                 | < 25                                           |
| Muito Lisa               | 25 – 31                                        |
| Lisa                     | 32 – 39                                        |
| Insuficientemente rugosa | 40 – 46                                        |
| Medianamente Rugosa      | 47 – 54                                        |
| Rugosa                   | 55 – 75                                        |
| Muito Rugosa             | > 75                                           |

Fonte: DNIT (2006)

É importante salientar que os valores de VRD são reduzidos de acordo com as condições climáticas quando ocorre dos pavimentos estarem com superfície molhada e ao polimento dos agregados da superfície do revestimento causado pela ação do tráfego de veículos (MATTOS, 2009).

Os valores de VRD associados aos de HS (altura de mancha de areia), ou de MPD (*Mean Profile Depth*), podem fornecer o *International Friction Index* (IFI), padronizando em uma única escala as magnitudes de macro e microtexturas medidos por diversos equipamentos, de acordo com a PIARC (*Permanent International Association of Road Congress – World Road Association*) (ASTM E-1960, 2015; Wambold *et al.*, 1995; Aps, 2006; Fuente *et al.*, 2012).

#### b) *Dynamic Friction Tester*

Este método de teste abrange o procedimento para medir as propriedades de atrito pontualmente de vários tipos de superfície em função da velocidade usando um avaliador de atrito dinâmico. Pode ser usado para determinar os efeitos relativos de várias técnicas de polimento em materiais ou combinações de materiais (ASTM E-1911, 2019).

Este equipamento consiste em um disco giratório horizontal equipado de três controles deslizantes de borracha, acionados por mola que entram em contato com a superfície à medida que a velocidade de rotação do disco diminui devido ao atrito gerado entre os controles deslizantes e a superfície. O torque gerado pelas forças

deslizantes medidas durante o giro é então usado para calcular o atrito em função da velocidade (ASTM E-1911, 2019).

Diferentemente do pêndulo britânico esse equipamento não é afetado por operadores. A desvantagem do mesmo é que é necessário o controle do tráfego e fechar a via durante o ensaio (SOUSA, 2021). A figura 10 mostra o equipamento em vários ângulos.

Figura 10 – Dynamic Friction Tester



Fonte: Nippo (2011)

#### 2.1.2.2. Roda Oblíqua

##### a) Mu-Meter

Abrange a medição da fricção da força lateral de superfícies pavimentadas utilizando um dispositivo comumente chamado de Mu-Meter. Este ensaio fornece dados de atrito da força lateral ao longo de todo o comprimento da superfície que está sendo avaliada. O conhecimento da força de atrito lateral serve como uma ferramenta adicional na caracterização das superfícies do pavimento. A velocidade e a distância percorrida também são registradas pelo sistema (ASTM E670-09, 2020).

Este método de teste utiliza uma medição obtida puxando o Mu-Meter, contendo duas rodas de teste girando livremente em ângulo na direção do movimento, sobre uma superfície do pavimento a uma velocidade constante enquanto as rodas de teste estão sob uma carga estática constante. A força de atrito resultante que atua entre os pneus do equipamento e a superfície do pavimento é digitalizada e registrada (ASTM E670-09, 2020).

Os resultados são aplicados a uma variedade de algoritmos computadorizados que permitem a produção de resultados, incluindo a média ao longo do tempo, representação numérica e gráfica, mapeamento de atrito e relatórios (ASTM E670-09,

2020). A figura 11, apresenta o equipamento Mu-Meter.

Figura 11 – Mu-Meter



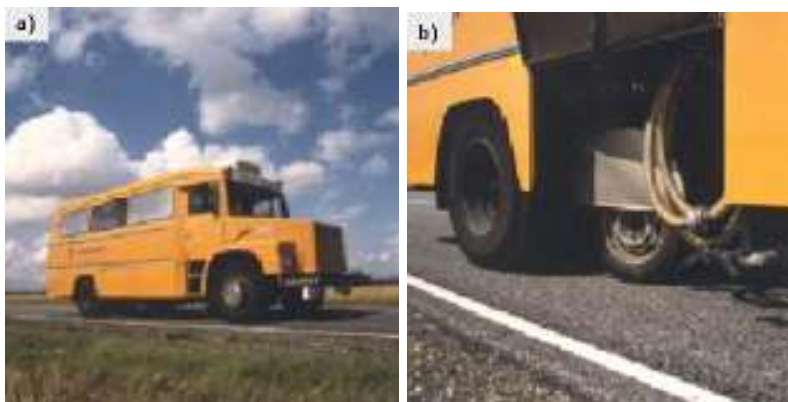
Fonte: Santos (2004).

#### b) Stradograph

O Stradograph é um veículo adaptado com um dispositivo que permite realizar medidas contínuas de atrito através de duas rodas situadas em cada eixo do mesmo. A velocidade usual do teste varia entre 20 a 60 km/h, podendo atingir até 150 km/h (APS, 2006).

O dispositivo pode registrar até sete coeficientes diferentes como: velocidade de rotação e cargas que atuam nas rodas, velocidade do veículo, força lateral esquerda e direita, força longitudinal esquerda e direita (APS, 2006). A figura 12, apresenta o equipamento e o detalhe da roda oblíqua.

Figura 12 - Stradograph (a) vista geral do equipamento (b) detalhe da roda oblíqua



Fonte: Wambold e Henry (2002)

#### c) Odoliograph

O odoliograph é um equipamento de roda oblíqua desenvolvido na Bélgica. Trabalha utilizando a força transversal em um veículo com rodas comuns, por não possuir um sistema de água acoplado é necessário um caminhão-cisterna para a realização do ensaio em pavimentos molhados (COUCHINHO, 2011). A figura 13, apresenta o equipamento Odoliograph.

Figura 13 - Odoliograph



Fonte: Tyrosafe (2008).

#### d) SCRIM

Outro equipamento apropriado para levantamentos contínuos e que pode atuar com velocidade entre 40 a 140km/h é o SCRIM ou *Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine*, é um equipamento desenvolvido pela empresa TRRL – *Transportation Road Research Laboratory* e vem sendo utilizado em países como

Estado Unidos, França e Inglaterra (APS, 2006; COUCHINHO, 2011).

O SCRIM é um equipamento completo que já possui um sistema de tanque de água acoplado no chassi no veículo, que serve para realizar o ensaio para medir o coeficiente de atrito em pavimentos molhados. Como possui um fluxo controlado a lâmina de água fica em torno de 0,5mm a 2mm. Esse procedimento está descrito na norma BS 7941-1:2006 (COUCHINHO, 2011).

A roda teste se localiza no centro do veículo e pode ser levantada a qualquer momento. Os dados obtidos nela são armazenados no computador dentro do veículo. Os parâmetros obtidos são a média da velocidade do veículo e o coeficiente de atrito lateral que necessita que a roda esteja a uma inclinação de 20°. (COUCHINHO, 2011). A figura 14, apresenta o equipamento SCRIM.

Figura 14 - SCRIM



Fonte: Santos (2004).

#### 2.1.2.3. Roda Parcialmente Bloqueada

##### a) BV-11

É um reboque de medida de atrito de modo contínuo que possui 3 rodas, sendo que 2 rodas garantem a estabilidade e 1 serve para realizar a medição do atrito. A roda responsável pela medição do atrito tem a rotação retardada com taxa de deslizamento de 17% com o veículo em movimento, enquanto as outras duas giram livremente e suportam o equipamento (APS, 2006).

Uma força de 100 kgf é aplicada sobre a roda teste, sendo que os pneus da roda teste podem ser de baixa ou alta pressão. Para medição em superfícies molhadas é necessário acoplar no reboque uma unidade de água e o próprio sistema

faz o controle com a especificação do filme de água que ficará em torno de 1 mm. Os dados dessa medição de atrito são armazenados e processados automaticamente. (COUCHINHO, 2011). A figura 15, apresenta o equipamento BV-11.

Figura 15 – BV-11



Fonte: Couchinho, 2011 apud GDDKIA (2009)

b) SFT

O Surface Friction Tester (SFT) consiste em um veículo modificado que segue os mesmos princípios do BV-11. A diferença é que a medida contínua de atrito é feita na quinta roda que fica no eixo traseiro do veículo e opera com uma taxa de deslizamento de 15% (APS, 2006).

Há um sistema de espargimento de água onde é configurada para uma lâmina de água média de 1mm, e as velocidades médias usuais são de 96km/h. Podem ser usados tanto para pneu de baixa pressão quanto de alta pressão e os dados são armazenados em um computador de bordo portátil (COUCHINHO, 2011). A figura 16, apresenta o equipamento SFT.

Figura 16 – Surface Friction Tester (SFT)



Fonte: Sousa (2021)

### c) Grip Tester

É um equipamento que consiste em um reboque com três rodas do tipo deslizômetro (skiddometer) que também serve para medir o atrito de forma contínua. Também pode ser usado manualmente, sendo que só é aplicável dessa forma em áreas de difícil acesso. Sendo a roda central responsável pela aferição do atrito, operado com uma taxa de deslizamento de 15% e alcançando uma velocidade média de até 65km/h.

O Grip Tester é rebocado por um veículo equipado com um depósito de água entre 400 a 1000 litros e possui um dispositivo que controla a sua vazão. A água é proporcionalmente espalhada de forma a garantir uma película com espessura mínima em torno de 0,5mm (COUCHINHO, 2011).

A expressão para calcular o coeficiente de atrito é a seguinte:

$$GN = \frac{F_v}{F_h} \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde:

$F_v$  = força vertical (kgf)

$F_h$  = força horizontal (kgf)

GN = é o coeficiente de atrito

É caracterizado pela sua robustez. É compacto e leve, como pode-se observar na figura 17, sendo assim de fácil operação, umas das suas principais vantagens (SOUSA, 2021).

Figura 17 – Grip Tester



Fonte: Couchinho (2011)

## 2.2. DEFORMAÇÃO PLÁSTICA EM TRILHAS DE RODAS

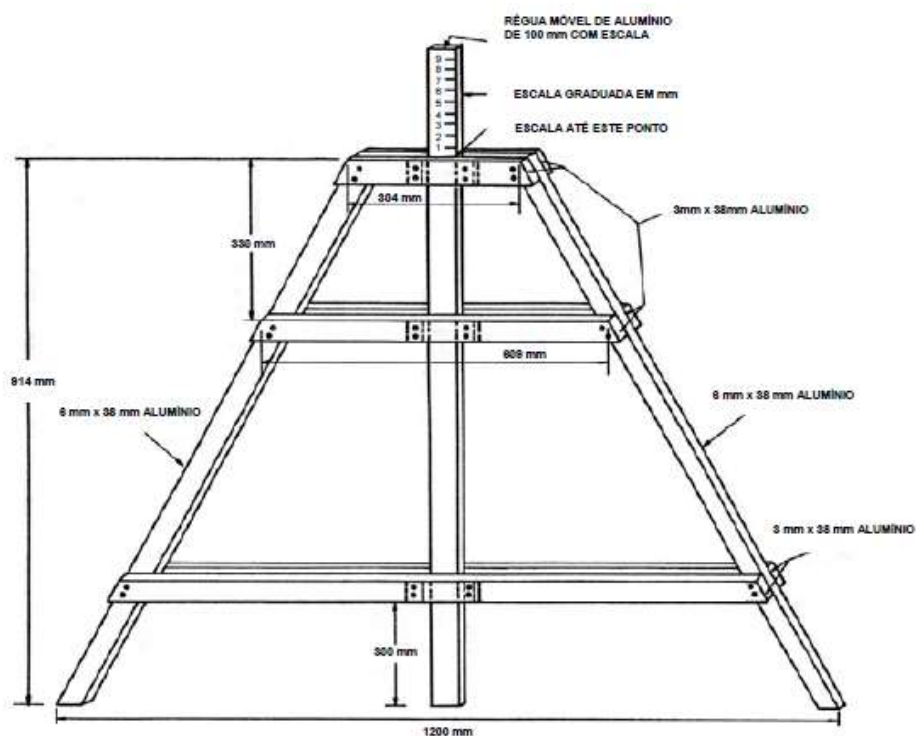
O afundamento de trilha de roda (ATR) corresponde à deformação permanente no sulco formado nas trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE) por veículo de carga. Essa deformação é medida em milímetros e corresponde ao ponto de máxima depressão medida transversalmente (DNIT, 2006).

Para Ferreira (2002), o ATR não é uma avaliação direta da macrotextura do pavimento, mas ela influencia no escoamento de água, pois a presença do mesmo se muito acentuado pode dificultar o escoamento no sentido transversal, ocasionando a formação de poças ou ainda no sentido longitudinal, resultando em uma espessura de lâmina d'água superior a que ocorreria sem o afundamento.

### 2.2.1. Treliça Metálica

As medidas podem ser feitas através de uma treliça metálica com 1,20m de comprimento contendo uma régua móvel cujas medidas das flechas de trilho de roda são em milímetros (DNIT, 2006). Na figura 18 é apresentado o detalhamento dessa treliça metálica.

Figura 18 – Treliça metálica para medição das flechas da trilha de roda



Fonte: DNIT (2003).

### 2.2.2. Perfilômetro a Laser

O perfilômetro a laser funciona projetando um raio laser sobre o pavimento e o receptor, situada em uma espécie de viga no automóvel, mede a altura desse ponto sobre o pavimento. Pode ser instalado em um equipamento estacionário ou montado em um veículo que se desloca na velocidade da via (BARELLA, 2008).

Quanto mais rápido o perfilômetro a laser passa sobre o pavimento, maiores são os comprimentos de onda que ele consegue incluir no perfil. Devido a isso, não se recomenda que este equipamento realize medições com velocidades inferiores a 30 km/h, pois se a velocidade for muito baixa pode haver diferenças nos índices calculados (BARELLA, 2008). A figura 19, apresenta o perfilômetro a laser.

Figura 19 - Perfilômetro a laser



Fonte: Severo et al. (2004).

### 2.3. EXPERIÊNCIAS NA AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA

Sobre a textura e aderência do pneu-pavimento existe vários estudos relacionados. Fritsch *et al.* (2018) mostra que a microtextura tem uma tendência de decréscimo em função do tempo, que se deve ao fato do desgaste do pavimento, ocasionando redução de atrito e de aderência. Já Santiago *et al.* (2013) fala que os materiais utilizados no pavimento influenciam no atrito. Pavimentos com maior quantidade de agregado graúdo no traço, obteve um melhor desempenho e Lin *et al.* (2018) completa mostrando que apesar do efeito da angularidade dos agregados finos terem um impacto significativo na resistência à derrapagem no nível de macrotextura,

não se observa o mesmo no nível de microtextura.

Gurgel (2019) afirma que nem sempre os resultados obtidos de macrotextura e microtextura apresentam características que variam da mesma forma, ou seja, pavimento com bons resultados de microtextura pode ser insatisfatório para macrotextura e vice-versa. Dessa forma, mostra-se que é necessário além de uma análise individual, utilizar o *International Friction Index* (IFI), para correlacionar os dados e fazer uma avaliação de forma conjunta.

Mattos (2014) mostra em seu estudo a importância da sistematização e monitoramento na construção de pavimento e evidencia que o ATR é uma característica muito mais afetada pela qualidade da construção do que pelo tráfego atuante.

Um outro estudo é o de Aps (2006), no qual a autora avaliou a aplicabilidade do IFI como indicador de aderência para pavimentos e estabeleceu faixas de recomendação de valores. Dessa forma, possibilitando que o IFI seja usado como uma ferramenta para gerência de pavimentos.

Essas faixas são aptas para rodovias e vias urbanas de alto volume e estão expostas na tabela 4.

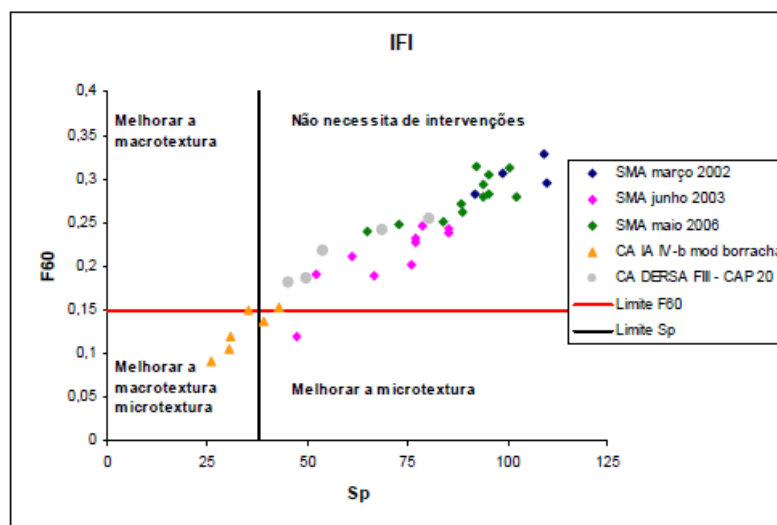
Tabela 4 - Faixas limites de valores de IFI (F60) 4ª tentativa

| Limites IFI |        |      |
|-------------|--------|------|
| Péssimo     | < 0,05 |      |
| Muito Ruim  | 0,06   | 0,08 |
| Ruim        | 0,09   | 0,11 |
| Regular     | 0,12   | 0,14 |
| Bom         | 0,15   | 0,21 |
| Muito Bom   | 0,22   | 0,35 |
| Ótimo       | > 0,35 |      |

Fonte: Aps (2006).

A figura 20 apresenta os valores calculados de IFI (Sp; F60) e os valores limites sugeridos na 4ª tentativa, que feita uma análise comparativa pode-se observar que foi o que representou melhor o real observado em campo. Portanto, o índice combinado é mais adequado para avaliação de estratégias de intervenção do que uma análise individual dos resultados dos ensaios.

Figura 20: Valores de IFI, (Sp) versus (F60) em função de limites sugeridos na 4ª tentativa



Fonte: Aps (2006).

Outra pesquisa sobre avaliação de aderência é a de Bucharles (2014), que teve como objetivo a avaliação de pavimentos em locais de acidentes de trânsito, a fim de verificar se os valores de macrotextura e microtextura encontravam-se dentro do limite de aceitabilidade e valores mínimos recomendados, verificando dessa forma se houve contribuição do pavimento para a ocorrência e severidade dos acidentes.

Para isso o autor fez uma pesquisa em três rodovidas do Estado do Paraná, totalizando 106 locais e em quatro vias urbanas na cidade de Londrina/PR, num total de 148 locais, especificamente em trechos onde ocorrem acidentes de trânsito.

Através do cálculo da macrotextura, utilizando o ensaio de mancha de areia e microtextura utilizando o ensaio de pêndulo britânico, o autor pode obter a relação com os valores do Índice de Atrito Internacional (IFI). Como principal resultado, uma melhor condição de macrotextura pode reduzir em até 19% as energias cinéticas envolvidas no acidente em rodovias e até 11% em vias urbanas.

Outro estudo que buscou avaliar a importância da textura superficial dos pavimentos na ocorrência de acidentes rodoviários em condição de pista molhada foi o de Carvalho (2019). O autor estudou dois trechos experimentais entre as cidades de Curitiba e São Paulo, localizados na pista sentido Norte da Rodovia Régis Bittencourt (BR-116). Esses trechos sofreram intervenção visando o aumento do atrito superficial oferecido pelo revestimento asfáltico da via. A mistura escolhida foi a do tipo *gap-graded*, buscando uma melhor macrotextura, consequentemente, uma

melhor drenagem superficial da pista e um maior atrito pneu/pavimento. Após a intervenção perceberam uma redução significativa de acidentes, sendo de 2,24 acidentes por trecho por período de 12 meses em pista seca e 8,20 acidentes por trecho por período de 12 meses em pista molhada. Os valores evidenciaram que a intervenção, implementada na aplicação do revestimento asfáltico do tipo *gap-graded*, ocasionou uma redução do número de acidentes principalmente em situação de pista molhada, a qual é a mais crítica .

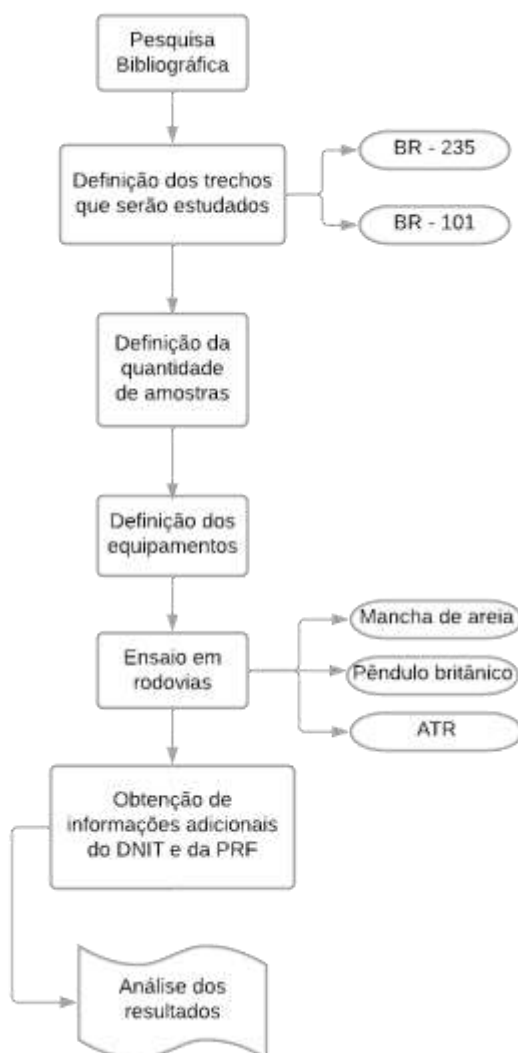
Farias (2022) propôs em sua pesquisa analisar a efetividade da textura superficial na redução de acidentes rodoviários e a melhoria nos aspectos de segurança viária, após a incorporação de mistura asfáltica com granulometria descontínua (*gap-graded*) e Tratamento Superficial Duplo (TSD). Utilizando o método *Highway Safety Manual* (HSM) com a combinação do método empírico de Bayes para análise da efetividade das intervenções, notou-se que o TSD contribuiu para redução de acidentes entre 33,93% e 45,39% após três anos de intervenção. Por outro lado, nos parâmetros avaliados, o *gap-graded*, aplicado na pista norte, não alcançou resultados satisfatórios para segurança viária após três anos de intervenção.

### 3. MÉTODOS DE ANÁLISE

Neste capítulo é apresentado o conjunto de análises que foram realizadas, o plano experimental de obtenção dos dados e os procedimentos de coleta de dados em campo.

Com o intuito de atender todos os objetivos, de forma a verificar o comportamento de aderência pneu-pavimento das rodovias federais do Estado de Sergipe, realizaram-se ensaios para levantamento da microtextura, macrotextura e afundamento de trilha de rodas. Para isso a pesquisa foi embasada nas seguintes etapas verificadas na figura 21.

Figura 21 – Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Autora (2024).

### 3.1. DEFINIÇÃO DOS TRECHOS ESTUDADOS

A pesquisa em questão tem como escopo estudar as rodovias federais do estado de Sergipe, portando com trechos selecionados na BR-101 e BR-235.

A BR-101 é um dos principais eixos rodoviários do país que tem início no município de Touros, no estado do Rio Grande do Norte e termina em São José do Norte, no Rio Grande do Sul, passando por Sergipe. A sua extensão total é de 4650 quilômetros. Em Sergipe a extensão é de 206 quilômetros que é o trecho em estudo na presente pesquisa.

Em Sergipe, a BR-101 inicia no município de Propriá na divisa de Alagoas e atravessa o estado de norte a sul passando por um total de 17 municípios, terminando no município de Cristinápolis na divisa com a Bahia . É o principal eixo logístico do estado, ligando a capital Aracaju ao restante do país. Possui no total 97 km duplicados, sendo 40 km entre Propriá e Japaratuba e 57 km entre Nossa Senhora do Socorro e Estância.

Já a BR-235 é uma rodovia transversal que liga Aracaju, em Sergipe ao Campo de Provas Brigadeiro Velloso em Novo Progresso, no Pará, tendo como extensão total de 1772 quilômetros. O trecho estudado tem 114 quilômetros, que compreende o estado de Sergipe.

Em Sergipe, a BR-235 inicia no município de Aracaju e atravessa o estado de leste a oeste passando por um total de 5 municípios, terminando no município de Carira na divisa com a Bahia. Nestes 114 km a rodovia é 100% pavimentada. A BR-235 é considerada perigosa por possuir diversas curvas em trechos de serra e não ter duplicação, principalmente nos trechos entre Aracaju e Itabaiana.

Na figura 22 é apresentado o trecho da BR-101 que atravessa o estado de Sergipe longitudinalmente de norte a sul, ligando o estado de Alagoas à Bahia. Apresenta também no trecho transversal a BR-235, atravessando o estado de leste a oeste.

Figura 22 - Trechos que correspondem a BR-101 e BR-235 em Sergipe



Fonte: Autora (2024).

### 3.2. DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE DE AMOSTRAS

Considerando a unidade amostral de 01 6ponto por quilômetro das vias. A extensão da BR-101 (206 km) e da BR-235 (114 km) totaliza 320 km, tornando-se inviável a realização dos ensaios em toda a população. Dessa forma, fez-se necessário calcular um número de amostras que pudesse representar de forma estatística e aproximada a população.

Por ser uma pesquisa sobre pavimentos, a margem de erro utilizada foi a de 10% (ALBUQUERQUE, 2007). Utilizou-se um nível de confiança de 95% obtendo-se a abscissa normal padrão (Z) de 1,96. As variáveis avaliadas são ordinais e com população finita. Foi determinado o número de amostras sem o conhecimento da proporção (p) de exemplares existentes em cada classe de VRD, HS e ATR. Portanto, o “p” adotado foi de 50%, o que resulta numa maior amostragem.

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N'}{d^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q} \quad (\text{Eq. 05})$$

$$n = \frac{1,96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 320}{0,1^2 \cdot (320 - 1) + 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}$$

$$n \cong 75$$

Onde:

Z = abscissa da normal padrão;

p = estimativa da proporção de classes;

q = (1 - p);

d = margem de erro;

N' = tamanho da população.

Dessa forma, obteve-se um espaço amostral de 75 pontos, que, de forma proporcional, foram distribuídos entre as duas rodovias estudadas, sendo 48 pontos para a BR-101 e 27 pontos para a BR-235.

Para que os números fossem escolhidos de forma aleatória, foram utilizadas no Excel® duas funções de forma a facilitar e agilizar o processo para que todos os números fossem selecionados ao mesmo tempo. A primeira função utilizada foi a função aleatório que permitiu que cada ponto da BR obtivesse um número aleatório. Com isso, utilizou-se a segunda função que é a função ordem, que classificou a posição dos primeiros 48 pontos para a BR-101 e 27 pontos para BR-235. Cada número aleatório escolhido representa os locais que seriam o objeto do estudo da presente pesquisa. As tabela 5 e 6 mostram os locais escolhidos aleatoriamente para cada rodovia.

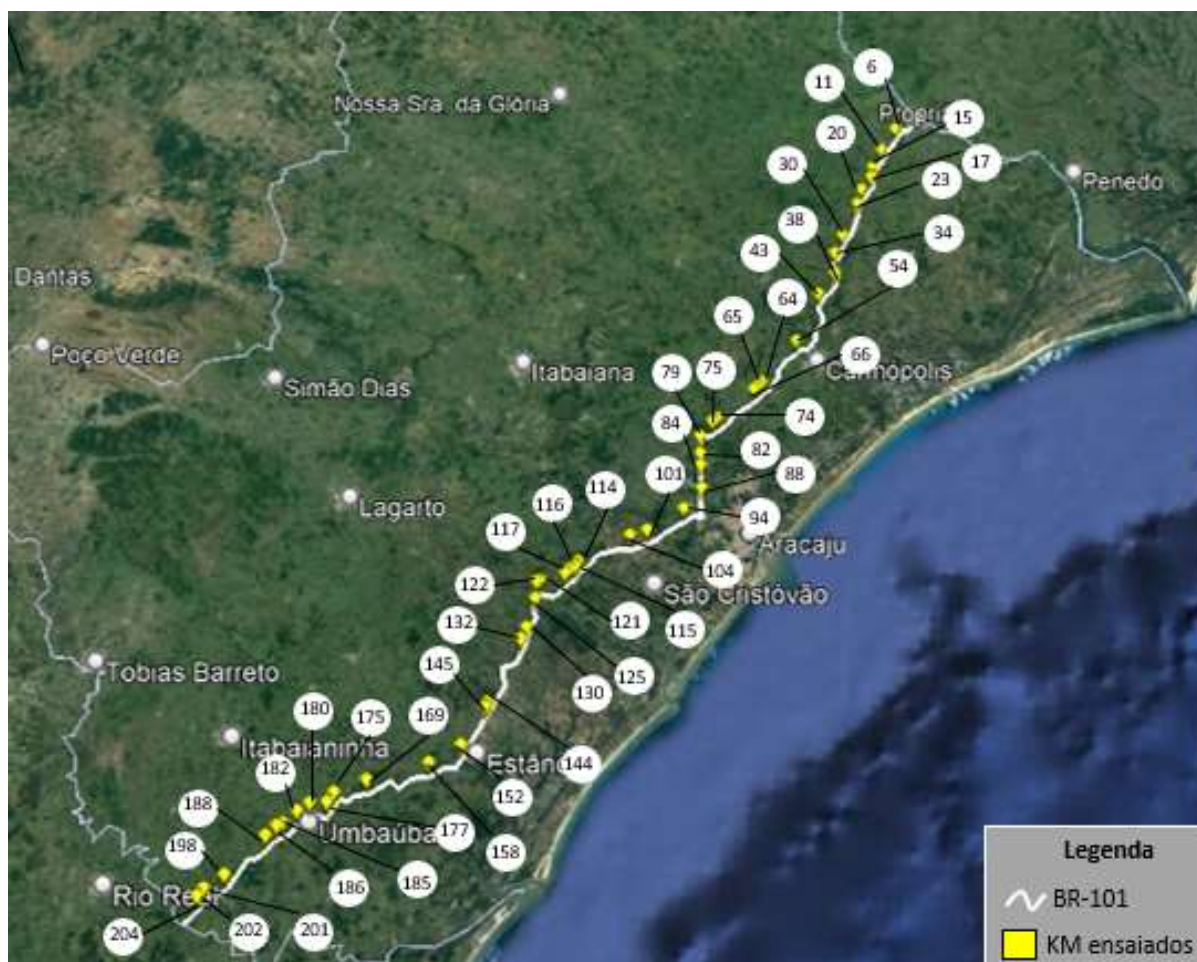
Tabela 5 – Segmentos escolhidos para BR-101

|                              |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Trechos da<br>BR-101<br>(km) | 6   | 11  | 15  | 17  | 20  | 23  |
|                              | 30  | 34  | 38  | 43  | 54  | 64  |
|                              | 65  | 66  | 74  | 75  | 79  | 82  |
|                              | 84  | 88  | 94  | 101 | 104 | 114 |
|                              | 115 | 116 | 117 | 121 | 122 | 125 |
|                              | 130 | 132 | 144 | 145 | 152 | 158 |
|                              | 169 | 175 | 177 | 180 | 182 | 185 |
|                              | 186 | 188 | 198 | 201 | 202 | 204 |

Fonte: Autora (2024).

A Figura 23 representa a BR-101 e as localizações onde foram feitos os estudos da presente pesquisa. Todos os 48 pontos passaram por coleta de dados referente aos três ensaios propostos na pesquisa.

Figura 23: Localizações dos pontos escolhidos para análise na BR-101



Fonte: Autora (2024).

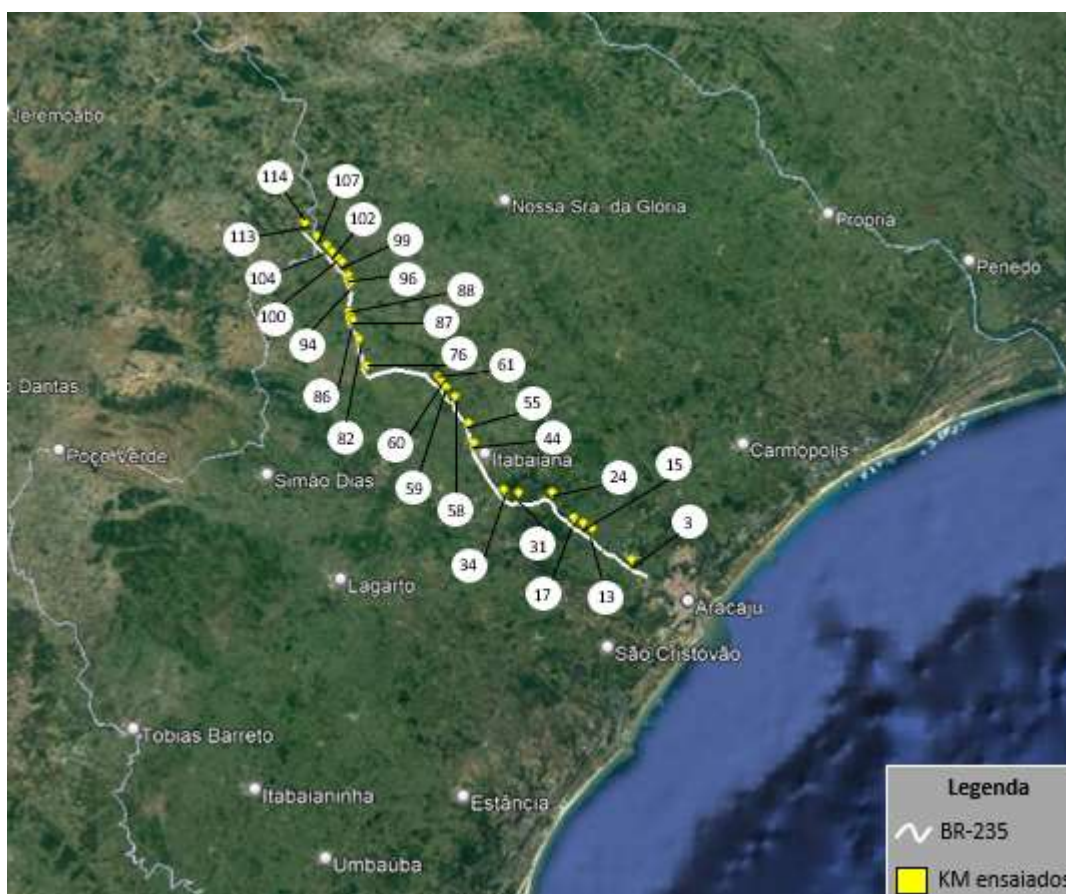
Tabela 6 - Segmentos escolhidos para BR-235

|                              |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Trechos da<br>BR-235<br>(km) | 3   | 13  | 15  | 17  | 24  | 31  |
|                              | 34  | 44  | 49  | 55  | 58  | 60  |
|                              | 61  | 76  | 82  | 86  | 87  | 88  |
|                              | 94  | 96  | 99  | 100 | 102 | 104 |
|                              | 107 | 113 | 114 |     |     |     |

Fonte: Autora (2024).

Na Figura 24 encontram-se os segmentos avaliados na BR-235 na presente pesquisa. Todos os 27 pontos passaram por coleta de dados referente aos três ensaios propostos na pesquisa.

Figura 24: Localizações dos pontos escolhidos para análise na BR-235



Fonte: Autora (2024).

### 3.4. DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Para a definição dos equipamentos a serem utilizados para os ensaios para avaliação de macrotextura, microtextura e ATR, levou-se em consideração os apropriados e disponíveis no LTT (Laboratório de Topografia e Transportes) da UFS (Universidade Federal de Sergipe).

Dessa forma, foi definido que os ensaios a serem realizados seriam os de Mancha de Areia, para avaliar a macrotextura, o Pêndulo Britânico, para avaliar a microtextura, e a medição de flechas com Trelíça Metálica, para medir o afundamento de trilha de roda. Com isso, foi feita uma revisão dos procedimentos desses ensaios de forma mais aprofundada, utilizando as normas ASTM E-965 (2019), NBR 16504 (2016), ASTM E-303 (2022), ASTM E-1703 (2015) e DNIT 006/2003-PRO para os procedimentos dos respectivos ensaios.

### 3.5. ENSAIOS

#### 3.5.1. Ensaio de Mancha de Areia

O ensaio de mancha de areia baseou-se na norma da ASTM E-965 (2019) e NBR 16504 (2016). Este procedimento serve para determinar a profundidade média de areia da superfície do pavimento, através da aplicação de um volume conhecido de areia na superfície do pavimento e a medição subsequente da área total abordada.

Para a realização do ensaio de mancha de areia, foram seguidos os seguintes critérios:

- Areia uniforme, passante na peneira 50 e retida na peneira 100;
- Recipiente de metal, com volume interno conhecido de 25000 mm<sup>3</sup>, que foi preenchido de areia e posteriormente espalhado no pavimento;
- Disco plano acoplado ao recipiente de metal de aproximadamente 6 cm de diâmetro e 1 cm de espessura, para o espalhamento da areia na superfície do pavimento;
- Pincel, para limpeza completa do pavimento antes do espalhamento da areia;
- Régua com divisões milimétricas para medições do diâmetro do círculo feito pelo espalhamento da areia, para o cálculo da área coberta pelo material.

A figura 25, apresenta os aparatos utilizados nesse ensaio.

Figura 25 – Aparatos para o ensaio de Mancha de Areia



Fonte: Autora (2024).

Foram escolhidas em cada ponto três áreas de teste, onde a superfície do pavimento não tivesse trincas ou remendos. As áreas foram limpas com o auxílio do pincel, como ilustrado na figura 26, retirando qualquer fragmento que pudesse dificultar o ensaio.

Figura 26 – Pincel para limpeza do pavimento



Fonte: Autora (2024).

Para cada ensaio, o recipiente de metal era cheio com areia seca até ocupar completamente o recipiente de forma a não ultrapassar e nem faltar a quantidade requerida. Utilizou-se uma régua para nivelar o recipiente de forma a garantir o mesmo volume em todos os ensaios. Na figura 27 apresenta-se o procedimento.

Figura 27 – Etapas para rasar a areia do recipiente



Fonte: Autora (2024).

Durante o ensaio, o volume de areia do recipiente era despejado na superfície do pavimento, de forma cuidadosa, e feito movimentos circulares de forma a preencher os agregados do pavimento até se formar um círculo com a superfície

plana. Na figura 28 apresentam-se as etapas da aplicação da areia e dos movimentos circulares.

Figura 28 – Aplicação e espalhamento da areia no pavimento



Fonte: Autora (2024).

Após isso, foram feitas quatro marcações para retirar a medida do diâmetro com a régua graduada em diferentes direções, conforme apresentado na figura 29, para depois ser feita a média aritmética dessas medidas.

Figura 29 – Medidas de diâmetro de Mancha de Areia



Fonte: Autora (2024).

Foi possível calcular a profundidade média dos sulcos da superfície do pavimento. Esta medição da profundidade possibilita a classificação das características da macrotextura do pavimento.

Para fins de cálculo, foi usada a equação 06 para o cálculo da profundidade média da macrotextura do pavimento:

$$HS = \frac{4*V}{\pi*D^2} \quad (\text{Eq. 06})$$

Onde:

HS = profundidade média da macrotextura (mm)

V = volume da amostra (mm<sup>3</sup>)

D= diâmetro médio da área coberta pelo material (mm)

O próximo passo é o cálculo do valor final da profundidade média para uma determinada unidade amostral. Este cálculo consiste em determinar a média aritmética de todos os valores de HS obtidos.

Em termos de classificação, o DNIT (2006) define diferentes classes de macrotextura, desde a muito fechada até a aberta, como apresentado na tabela 7.

Tabela 7 – Classes da Macrotextura

| AVALIAÇÃO DA MACROTEXTURA / MÉTODO DA ALTURA DE AREIA |                             |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------|
| PROFUNDIDADE MÉDIA EM (mm)                            | TEXTURA SUPERFICIAL         |
| HS < 0,20 mm                                          | MUITO FINA OU MUITO FECHADA |
| 0,20 mm < 0,40 mm                                     | FINA OU FECHADA             |
| 0,40 mm < HS < 0,80 mm                                | MÉDIA                       |
| 0,50 mm < HS < 1,20 mm                                | GROSSEIRA OU ABERTA         |
| HS > 1,20 mm                                          | MUITO GROSSEIRA OU ABERTA   |

Fonte: DNIT (2006).

O limite sugerido no Brasil para macrotextura seria o de profundidade média entre 0,6mm < HS < 1,2 mm (DNIT, 2006).

### 3.5.2. Ensaio de Pêndulo Britânico

Para esse ensaio foi utilizada a norma ASTM E-303 (2022). Este método de ensaio tem como objetivo medir a resistência a derrapagem do pavimento, utilizando para isso um equipamento chamado de Pêndulo Britânico.

O pêndulo britânico é um equipamento dinâmico do tipo impacto usado para

medir a perda de energia quando uma superfície deslizante de borracha é lançada em movimento pendular sobre o pavimento. Este ensaio, portanto, simula a passagem do pneu de um veículo com baixa velocidade sobre um pavimento. Quanto maior o atrito entre a borracha e o pavimento, maior a perda de energia, logo se obterá uma maior leitura do BPN = *British Pendulum Number*, ou VRD = valor de resistência a derrapagem em português.

Primeiro é necessário fazer o nivelamento do equipamento, e para isso seguiu-se as etapas:

- As superfícies do teste de campo deveriam estar livres de partículas. Não precisaria ser horizontal, desde que o instrumento pudesse ser nivelado usando apenas os parafusos calantes (Figura 30).
- Primeiramente o equipamento foi nivelado na superfície do pavimento através de parafusos calantes guiados por nível bolha que se encontram no mesmo.

Figura 30 – Pêndulo Britânico



Fonte: Autora (2024).

- Giraram-se os parafusos calantes para nivelamento até que o nível de bolha estivesse centralizado. Na figura 31, pode-se observar na parte traseira do pêndulo britânico os três parafusos calantes de nivelamento.

Figura 31 – Parafusos calantes do Pêndulo Britânico



Fonte: Autora (2024).

- Prosseguiu-se para o ajuste de zero da leitura, onde foi necessário soltar o pêndulo da posição inicial e observar a posição do ponteiro. Caso a leitura não fosse zero, era necessário tensionar ou distensionar o anel de travamento dependendo do valor obtido na leitura. Se a seta de indicação subisse muito era necessário apertar, se a seta não subisse o suficiente era necessário afrouxar até que a leitura chegasse no zero como visto na figura 32.

Figura 32 – Ajuste do zero do Pêndulo Britânico



Fonte: Autora (2024).

- Por último, seguiu-se para o ajuste do comprimento do slide. Com o pêndulo pendurado livremente é utilizado um espaçador de acrílico para auxiliar. O pêndulo deveria descer até o limite das duas bordas do espaçador, como apresentado na

figura 33, de modo que o centro estivesse bem rente à superfície e nas laterais estivesse livre para oscilar.

Figura 33 – Ajuste do comprimento do slide do Pêndulo Britânico



Fonte: Autora (2024).

Após todos os procedimentos para calibração do equipamento terem sido feitos, foram iniciados os ensaios. Primeiro, foi aplicada em toda superfície de contato do pêndulo um filme de água até que estivesse drenando. Na figura 34 apresenta-se a aplicação de água no pavimento.

Figura 34 – Aplicação de água até o pavimento ficar drenando



Fonte: Autora (2024).

Logo que a superfície do pavimento estivesse com a água drenante, foi medida a temperatura da mesma, como ilustrado na figura 35.

Figura 35 – Medição da temperatura do pavimento



Fonte: Autora (2024).

Logo após fez-se um balanço teste, mas sem registrar a leitura. O pêndulo retornou para posição inicial e começou-se o ensaio propriamente dito.

Ao retornar o pêndulo a posição inicial, deve-se levantar a alça para erguer a sapata de borracha, evitando-se o contato entre o pêndulo e a superfície, conforme apresentado na figura 36.

Figura 36 – Levantamento da alça do Pêndulo Britânico



Fonte: Autora (2024).

Antes de cada oscilação, o ponteiro de arrasto foi retornado até encostar no parafuso de ajuste.

Sem demora, foi necessário fazer as quatro medições, umedecendo sempre a superfície do pavimento no intervalo entre elas e registrando os resultados.

A norma ASTM E-303 (2022) determina que a variação máxima entre as medições seja de no máximo 3 unidades.

Tomou-se cuidado para que o equipamento ficasse paralelo à superfície de teste durante as oscilações e girasse de modo que toda a borda de impacto faça o contato com a superfície.

Em termos de classificação, as classes de resistência a derrapagem especificadas em DNIT (2006) vão desde a perigosa até a muito rugosa, como apresentado na tabela 8. O limite inferior sugerido pelo DNIT (2006) fica entre a superfície medianamente rugosa a rugosa, com valores aceitáveis para VRD  $\geq 45$ .

Tabela 8 – Classes de resistência a derrapagem

| CLASSES DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM / MÉTODO DO PÊNDULO BRITÂNICO |                                         |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| CLASSES                                                           | VRD - VALOR DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM |
| 1 - PERIGOSA                                                      | < 25                                    |
| 2 - MUITO LISA                                                    | 25 - 31                                 |
| 3 - LISA                                                          | 32 - 39                                 |
| 4 - INSUFICIENTEMENTE RUGOSA                                      | 40 - 46                                 |
| 5 - MEDIANAMENTE RUGOSA                                           | 47 - 54                                 |
| 6 - RUGOSA                                                        | 55 - 75                                 |
| 7 - MUITO RUGOSA                                                  | > 75                                    |

Fonte: DNIT (2006).

### 3.5.3. Ensaio de ATR

Para medir o afundamento de trilha de roda (ATR), levaram-se em consideração as normas ASTM E-1703 (2015) e DNIT 006/2003-PRO que descrevem o procedimento para medição do ATR na superfície do pavimento. Para isso, foi utilizada uma treliça de alumínio padronizada de 1,20 m de comprimento da base, possuindo uma régua móvel instalada no meio do equipamento e que permite medir o ATR em milímetros.

A profundidade de flecha a ser medida caracteriza o ATR, sendo a distância perpendicular máxima medida entre a superfície inferior da régua e a área de contato do medidor com a superfície do pavimento.

Para realizar o ensaio, primeiro foram colocados os dois pés da extremidade

da treliça nas laterais fora da trilha de roda, isto é, transversalmente à via, de forma que a régua se posicionasse exatamente no meio da trilha e deslizasse para tocar no pavimento na sua maior depressão transversal.

Foram evitadas áreas cuja descontinuidade fosse mais profunda do que a própria régua.

A régua foi posicionada, portanto, em um plano perpendicular ao sentido do trânsito. A superfície inferior da régua deveria ser paralela à inclinação longitudinal do pavimento.

As flechas foram medidas em cada ponto estudado na rodovia, utilizando a treliça. As medidas foram executadas na trilha de roda interna (TRI) e externa (TRE), conforme a Figura 37.

Figura 37 – Treliça metálica



Fonte: Autora (2024).

Um número de medições suficiente em cada km da rodovia foi feito deslocando a treliça transversalmente dentro da trilha de roda de modo a obter a leitura máxima para determinado ponto.

Caso o ponto apresentasse remendo ou panela, a treliça seria deslocada para executar o ensaio em outro ponto do segmento.

O DNIT(2006) recomenda que o afundamento da trilha de roda seja inferior a 12 mm.

### 3.6. TRATAMENTO E ANÁLISE CRÍTICA DOS DADOS

De forma a fazer uma análise crítica de cada segmento das vias, primeiro foi feita uma avaliação funcional dos ensaios de campo, avaliando-se individualmente o

HS, VRD, IFI e ATR. Na sequência, fez-se uma análise de como o HS, VRD, IFI, ATR, tráfego, idade de revestimento, geometria e tipo de revestimento influenciaram na incidência de acidentes. Por último, foram avaliadas as possibilidades de modelagem de HS, VRD, IFI e ATR, sendo ajustados modelos de previsão de desempenho para as variáveis que se apresentaram passíveis para tanto.

### 3.6.1. Diagnóstico Funcional

O diagnóstico funcional foi dividido em avaliação da macrotextura pelo método de mancha de areia, da microtextura avaliada pelo pêndulo britânico e do ATR através da treliça metálica.

Com o objetivo de classificar as medidas de atrito, o HS e VRD foram utilizados para o cálculo do IFI – *International Friction Index*, que é uma escala comum que quantifica o atrito no pavimento molhado, cujo procedimento está descrito na ASTM E1960 (2023).

Para o cálculo de harmonização das medidas de textura, utiliza-se o parâmetro  $S_p$ , como apresentado na equação abaixo:

$$S_p = a + b * T_x \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

$S_p$  = constante de velocidade;

$T_x$  = parâmetro de textura inferido pelo equipamento;

a e b = constantes determinadas em função do equipamento utilizado.

Os valores das constantes a e b variam de acordo com o método escolhido e pode ser consultado na tabela 9.

Tabela 9: Valores das constantes a e b para cálculo de  $S_p$

| Norma       | Método de Ensaio | a     | b     |
|-------------|------------------|-------|-------|
| ASTM E 1845 | MPD              | 14,2  | 89,7  |
| ASTM E 965  | Mancha de Areia  | -11,6 | 113,6 |

Fonte: ASTM E1960 (2023).

Já para o cálculo das medidas de atrito, utiliza-se o parâmetro  $FR_{60}$ , como apresentado na equação seguinte:

$$FR_{60} = FRS * e^{\frac{S-60}{S_p}} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

$FR_{60}$  = valor do atrito do equipamento convertido à velocidade de 60km/h;

FRS = valor de atrito medido à velocidade de deslizamento S;

S = velocidade do deslizamento do equipamento em km/h.

Ainda, os valores são incorporados no modelo do  $F_{60}$ , apresentado na equação seguinte:

$$F_{60} = A + B * FR_{60} + C * T_X \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

$F_{60}$  = valor do atrito harmonizado para velocidade de 60km/h;

A, B e C= constantes de calibração de acordo com os equipamentos utilizados;

Os valores de A, B e C podem ser consultados na tabela 10, que também apresenta a velocidade de referência para cada tipo de equipamento (S).

Tabela 10: Valores de S, A, B e C de acordo com os equipamentos que foram calibrados para obtenção de  $F_{60}$

| Características             | Equipamento                     | S    | A      | B     | C      |
|-----------------------------|---------------------------------|------|--------|-------|--------|
| Roda Bloqueada              | ASTM E – 274 (USA)              | 65   | 0,045  | 0,925 | 0      |
|                             | LCPC Skid Trailer (F)           | 60   | 0,002  | 1,008 | 0      |
|                             | Stuttgarter Reibungsmesser (CH) | 60   | 0,022  | 0,05  | 0,082  |
|                             | Skiddometer (CH)                | 60   | 0,026  | 0,504 | 0,099  |
|                             | Stuttgarter Reibungsmesser (A)  | 60   | -0,072 | 0,767 | 0,086  |
|                             | ASTM E -274 (USA)               | 65   | -0,023 | 0,607 | 0,098  |
|                             | Friction Tester (PL)            | 60   | -0,025 | 0,807 | 0,068  |
| Roda Parcialmente Bloqueada | OSCAR at 86% (N)                | 52   | -0,030 | 0,864 | 0      |
|                             | OSCAR at 20%(N)                 | 12   | 0,119  | 0,643 | 0      |
|                             | Komatsu Skid Trailer (J)        | 10   | 0,042  | 0,849 | 0      |
|                             | DWW Trailer (NL)                | 43   | 0,019  | 0,868 | 0      |
|                             | Griptester (UK)                 | 9,4  | 0,082  | 0,91  | 0      |
|                             | Stuttgarter Reibungsmesser (CH) | 12   | 0,141  | 0,323 | 0,074  |
|                             | Skiddometer (CH)                | 12   | 0,030  | 0,918 | -0,014 |
|                             | BV – 11 (S)                     | 12   | 0,040  | 0,856 | 0,016  |
|                             | Stuttgarter Reibungsmesser (A)  | 12   | 0,020  | 0,867 | -0,006 |
| Roda Oblíqua                | Stradograph (DK)                | 12,5 | 0,054  | 0,77  | 0      |
|                             | Odoliograph Wallon (B)          | 12,9 | 0,113  | 0,729 | 0      |
|                             | Odoliograph CRR (B)             | 20,5 | 0,113  | 0,746 | 0      |
|                             | SCRIM CEDEX (E)                 | 20,5 | 0,019  | 0,813 | 0      |
|                             | SCRIM MOPT (E)                  | 20,5 | 0,032  | 0,873 | 0      |
|                             | SCRIM SRM (D)                   | 20,5 | 0,017  | 0,85  | 0      |
|                             | SCRIM GEOCISA (E)               | 20,5 | 0,021  | 0,928 | 0      |
|                             | SCRIM (F)                       | 20,5 | -0,006 | 0,862 | 0      |
|                             | SUMMS (I)                       | 20,5 | 0,002  | 0,987 | 0      |
|                             | SCRIMTEX (UK)                   | 17,1 | 0,033  | 0,872 | 0      |
| Estáticos                   | DF Tester at 60 km/h (J)        | 60   | -0,034 | 0,771 | 0      |
|                             | DF Tester at 20 km/h (J)        | 20   | 0,081  | 0,732 | 0      |
|                             | Pendulum Tester BPT (USA)       | 10   | 0,056  | 0,008 | 0      |
|                             | Pendulum Tester SRT (CH)        | 10   | 0,044  | 0,01  | 0      |

Fonte: ASTM E1960 (2023).

Por fim, a tabela 11 apresenta a classificação do IFI.

Tabela 11: Classificação do IFI (F60)

| Limites IFI |        |      |
|-------------|--------|------|
| Péssimo     | < 0,05 |      |
| Muito Ruim  | 0,06   | 0,08 |
| Ruim        | 0,09   | 0,11 |
| Regular     | 0,12   | 0,14 |
| Bom         | 0,15   | 0,21 |
| Muito Bom   | 0,22   | 0,35 |
| Ótimo       | > 0,35 |      |

Fonte: ASTM E1960 (2023).

Os parâmetros de HS, VRD e IFI foram avaliados e comparados com as referências estabelecidas nas normas técnicas brasileiras. Os valores de ATR foram utilizados para definir regime de alerta sobre o risco de aquaplanagem. Todos esses índices foram confrontados com o número de acidentes em cada segmento da via.

### 3.6.2. Correlação de Dados

Finalizados os ensaios e determinados os valores de HS, VRD, IFI e ATR, os dados foram inseridos no Excel® e foi feita uma correlação linear de Pearson dos mesmos, com a finalidade de analisar possíveis interdependências. A correlação é uma medida adimensional que pode assumir valores no intervalo entre -1 e +1 e mede o grau de relacionamento entre duas variáveis.

### 3.6.3. Modelos de Previsão de Desempenho

Para os modelos de previsão de desempenho, foram obtidos indicadores juntamente ao DNIT, dentre eles os dados da estrutura do pavimento e tipo de revestimento, volume de tráfego e idade da capa em cada segmento. Com esse dados foram propostos modelos fatoriais de previsão de desempenho com ajuste linear e otimização pelos mínimos quadrados, a depender dos melhores resultados para os critérios de  $R^2$ , *p-value* dos coeficientes do modelo e desempenho no teste as cegas para segmentos selecionados.

Os modelos de previsão de desempenho ajustados são determinísticos e têm a capacidade de identificar a variação temporal das condições do pavimento, a partir do conhecimento do tipo de revestimento, tráfego anual da rodovia e idade do

pavimento, projetando dessa forma a deterioração das condições de textura e atrito do pavimento.

### 3.7. CARACTERÍSTICAS DOS TRECHOS ENSAIADOS

São vários os fatores que influenciam no atrito pneu-pavimento, dentre eles: a microtextura, macrotextura, intensidade do tráfego, idade do pavimento e geometria da rodovia. Dessa forma, conhecer as características do pavimento é fundamental para a presente pesquisa.

Para isso, foi obtido juntamente com o DNIT, através do site da PNCT, dados de Volume Médio Diário (VMD) de tráfego, que estão expressos nas Tabelas 12 e 13.

Na BR-101, pode ser observado na tabela 12 que o maior VMD está no trecho da Região Metropolitana de Aracaju. O km 87 apresenta o maior volume de tráfego e está localizado em Nossa Senhora do Socorro, enquanto os outros pontos, o km 48 e o km 146, Japarutuba e Estância, respectivamente, apresentam valores menores de VMD, justamente por estarem em trechos de menores densidades urbanas.

Tabela 12: Tráfego da BR-101

| KM         | DADOS            | 2018  | 2019  | 2021  | 2022  |
|------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>48</b>  | VMDa Crescente   | 5456  | 5445  | 5391  | 5094  |
|            | VMDa Decrescente | 5499  | 5456  | 5679  | 5050  |
|            | VMDa Total       | 10955 | 10901 | 11070 | 10144 |
| <b>87</b>  | VMDa Crescente   | -     | -     | 11688 | 11097 |
|            | VMDa Decrescente | -     | -     | 12319 | 11092 |
|            | VMDa Total       | -     | -     | 24007 | 22189 |
| <b>146</b> | VMDa Crescente   | 5575  | 5610  | -     | 5067  |
|            | VMDa Decrescente | 5714  | 5762  | -     | 5357  |
|            | VMDa Total       | 11289 | 11372 | -     | 10424 |

Fonte: Autora (2024).

Para a BR-235, só foi possível obter dados dos trechos que ficam na Região Metropolitana de Aracaju (km 9 e km 13), como apresentado na tabela 13. Ambos estão localizados em Nossa Senhora do Socorro, e apresentam valores de VMD próximos.

Tabela 13: Tráfego da BR-235

| KM        | DADOS            | 2016 | 2017  | 2018  | 2019  | 2021 | 2022  |
|-----------|------------------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| <b>9</b>  | VMDa Crescente   | 4902 | -     | -     | -     | -    | -     |
|           | VMDa Decrescente | 4903 | -     | -     | -     | -    | -     |
|           | VMDa Total       | 9805 | -     | -     | -     | -    | -     |
| <b>13</b> | VMDa Crescente   | -    | 4998  | 5045  | 5007  | 4321 | 5468  |
|           | VMDa Decrescente | -    | 5003  | 5069  | 5030  | 4434 | 5770  |
|           | VMDa Total       | -    | 10001 | 10114 | 10037 | 8755 | 11238 |

Fonte: Autora (2024).

Para análise de dados como geometria, tipo de revestimento e idade de capa, o DNIT forneceu projetos da estrutura do pavimento por conjunto de trechos. Essas documentações, juntamente com a observação detalhada “in loco” dos aspectos físicos da pista, foi possível definir essas características com maior acurácia.

Em geral, foram avaliados 4 tipos de revestimentos: (i) Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ); (ii) Tratamento Superficial Duplo (TSD), (iii) Concreto de Cimento Portland (CCP) e (iv) Microrevestimento. Os três primeiros foram nomeados conforme sua respectiva sigla CAUQ, CCP e TSD para fins de simplificação.

É possível observar na tabela 14 que a pavimentação da BR-101 foi restaurada ao longo dos anos, sendo que há uma maior incidência do microrevestimento nas restaurações mais antigas ao longo da rodovia e do CAUQ em restaurações mais novas, localizado no eixo norte do trecho.

Tabela 14: Características da BR-101

| KM | Geometria       | Tipo de Revestimento | Idade de Capa |
|----|-----------------|----------------------|---------------|
| 6  | Tangente rural  | CAUQ                 | 1             |
| 11 | Tangente rural  | CAUQ                 | 1             |
| 15 | Tangente rural  | CAUQ                 | 1             |
| 17 | Curva rural     | CAUQ                 | 1             |
| 20 | Curva rural     | CAUQ                 | 1             |
| 23 | Tangente rural  | CAUQ                 | 1             |
| 30 | Tangente rural  | CAUQ                 | 1             |
| 34 | Curva urbana    | CAUQ                 | 1             |
| 38 | Curva rural     | CAUQ                 | 1             |
| 43 | Curva rural     | Microrevestimento    | 4             |
| 54 | Tangente urbana | Microrevestimento    | 4             |
| 64 | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 65 | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 66 | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 74 | Tangente rural  | Placa CCP            | 3             |

Continua na página seguinte

| KM                 | Geometria       | Tipo de Revestimento | Idade de Capa |
|--------------------|-----------------|----------------------|---------------|
| <i>Continuação</i> |                 |                      |               |
| 75                 | Curva urbana    | Placa CCP            | 3             |
| 79                 | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 82                 | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 84                 | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 88                 | Tangente urbana | Microrevestimento    | 4             |
| 94                 | Tangente urbana | Microrevestimento    | 4             |
| 101                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 104                | Tangente urbana | Microrevestimento    | 4             |
| 114                | Curva urbana    | Microrevestimento    | 4             |
| 115                | Curva rural     | Microrevestimento    | 4             |
| 116                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 117                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 121                | Curva rural     | Microrevestimento    | 4             |
| 122                | Curva rural     | Microrevestimento    | 4             |
| 125                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 130                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 132                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 144                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 145                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 152                | Curva urbana    | Microrevestimento    | 4             |
| 158                | Curva rural     | Microrevestimento    | 4             |
| 169                | Curva urbana    | Microrevestimento    | 3             |
| 175                | Tangente urbana | Microrevestimento    | 3             |
| 177                | Curva urbana    | Microrevestimento    | 3             |
| 180                | Tangente urbana | Microrevestimento    | 3             |
| 182                | Curva urbana    | Microrevestimento    | 3             |
| 185                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 3             |
| 186                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 3             |
| 188                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 3             |
| 198                | Curva urbana    | Microrevestimento    | 5             |
| 201                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 5             |
| 202                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 5             |
| 204                | Tangente rural  | Microrevestimento    | 5             |

Fonte: Autora (2024).

Já na BR-235, foi possível observar um equilíbrio entre as restaurações feitas com microrevestimento e TSD (tabela 15), sendo utilizado o microrevestimento mais próximo à Região Metropolitana de Aracaju e TSD em áreas mais extremas, perto da fronteira com o estado da Bahia.

Tabela 15: Características da BR-235

| KM  | Geometria       | Tipo de Revestimento | Idade de Capa |
|-----|-----------------|----------------------|---------------|
| 3   | Curva urbana    | Microrevestimento    | 4             |
| 13  | Curva rural     | Microrevestimento    | 4             |
| 15  | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 17  | Tangente rural  | Microrevestimento    | 4             |
| 24  | Curva urbana    | Microrevestimento    | 4             |
| 31  | Curva urbana    | Microrevestimento    | 4             |
| 34  | Tangente urbana | Microrevestimento    | 7             |
| 44  | Tangente urbana | Microrevestimento    | 7             |
| 49  | Tangente urbana | Microrevestimento    | 7             |
| 55  | Tangente rural  | Microrevestimento    | 7             |
| 58  | Curva rural     | Microrevestimento    | 7             |
| 60  | Curva rural     | TSD                  | 7             |
| 61  | Curva rural     | TSD                  | 7             |
| 76  | Curva urbana    | TSD                  | 7             |
| 82  | Tangente rural  | TSD                  | 7             |
| 86  | Curva rural     | TSD                  | 7             |
| 87  | Tangente rural  | TSD                  | 7             |
| 88  | Curva rural     | TSD                  | 7             |
| 94  | Curva rural     | TSD                  | 4             |
| 96  | Tangente rural  | TSD                  | 4             |
| 99  | Tangente rural  | TSD                  | 4             |
| 100 | Tangente urbana | TSD                  | 4             |
| 102 | Curva rural     | TSD                  | 4             |
| 104 | Tangente urbana | TSD                  | 4             |
| 107 | Tangente rural  | TSD                  | 4             |
| 113 | Tangente rural  | TSD                  | 4             |
| 114 | Tangente rural  | TSD                  | 4             |

Fonte: Autora (2024).

Também foram obtidos dados de trechos com maior incidência de acidentes nas rodovias do estado de Sergipe. Esses dados foram obtidos para os pontos definidos anteriormente de forma aleatória, através de estatísticas da Polícia Rodoviária Federal dos últimos 5 anos, conforme apresentado nas tabela 16 e a tabela 17, complementando assim os dados que eram necessários às análises da presente pesquisa.

Tabela 16: Número de acidentes ao longo dos anos na BR-101

| BR    | Métrica | Acidentes | Acidentes | Acidentes | Acidentes | Acidentes |
|-------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|       | KM      | 2018      | 2019      | 2020      | 2021      | 2022      |
| 101   | 6       | 1         | 0         | 1         | 0         | 0         |
|       | 11      | 0         | 1         | 1         | 0         | 0         |
|       | 15      | 1         | 1         | 0         | 1         | 0         |
|       | 17      | 1         | 1         | 1         | 0         | 0         |
|       | 20      | 0         | 0         | 2         | 0         | 0         |
|       | 23      | 1         | 0         | 0         | 3         | 2         |
|       | 30      | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         |
|       | 34      | 1         | 1         | 2         | 0         | 0         |
|       | 38      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 43      | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         |
|       | 54      | 3         | 2         | 2         | 1         | 2         |
|       | 64      | 1         | 0         | 0         | 1         | 0         |
|       | 65      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 66      | 0         | 2         | 1         | 1         | 0         |
|       | 74      | 1         | 0         | 0         | 1         | 3         |
|       | 75      | 2         | 1         | 0         | 0         | 0         |
|       | 79      | 0         | 0         | 1         | 2         | 0         |
|       | 82      | 1         | 2         | 0         | 0         | 1         |
|       | 84      | 0         | 0         | 1         | 1         | 2         |
|       | 88      | 1         | 4         | 1         | 0         | 3         |
|       | 94      | 3         | 4         | 3         | 2         | 4         |
|       | 101     | 0         | 1         | 0         | 1         | 0         |
|       | 104     | 0         | 1         | 1         | 0         | 2         |
|       | 114     | 1         | 1         | 2         | 0         | 1         |
|       | 115     | 0         | 4         | 1         | 0         | 2         |
|       | 116     | 1         | 2         | 1         | 2         | 1         |
|       | 117     | 1         | 0         | 1         | 0         | 0         |
|       | 121     | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         |
|       | 122     | 0         | 0         | 3         | 0         | 0         |
|       | 125     | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 130     | 3         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 132     | 1         | 1         | 0         | 0         | 0         |
|       | 144     | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 145     | 0         | 2         | 0         | 1         | 0         |
|       | 152     | 2         | 2         | 2         | 0         | 5         |
|       | 158     | 0         | 2         | 0         | 0         | 0         |
|       | 169     | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         |
|       | 175     | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 177     | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 180     | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         |
|       | 182     | 4         | 2         | 3         | 2         | 2         |
|       | 185     | 1         | 0         | 0         | 0         | 1         |
|       | 186     | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         |
|       | 188     | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 198     | 0         | 1         | 2         | 1         | 0         |
|       | 201     | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 202     | 0         | 0         | 4         | 0         | 0         |
|       | 204     | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         |
| Total |         | 31        | 38        | 39        | 20        | 35        |

Fonte: Autora (2024).

Tabela 17: Número de acidentes ao longo dos anos na BR-235

| BR    | Métrica | Acidentes | Acidentes | Acidentes | Acidentes | Acidentes |
|-------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|       | KM      | 2018      | 2019      | 2020      | 2021      | 2022      |
| 235   | 3       | 5         | 6         | 7         | 3         | 3         |
|       | 13      | 1         | 0         | 0         | 1         | 1         |
|       | 15      | 0         | 0         | 0         | 0         | 2         |
|       | 17      | 1         | 0         | 0         | 0         | 1         |
|       | 24      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 31      | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         |
|       | 34      | 1         | 2         | 2         | 0         | 0         |
|       | 44      | 1         | 0         | 1         | 0         | 2         |
|       | 49      | 2         | 0         | 6         | 1         | 1         |
|       | 55      | 0         | 3         | 3         | 1         | 2         |
|       | 58      | 1         | 1         | 0         | 2         | 1         |
|       | 60      | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         |
|       | 61      | 0         | 0         | 0         | 0         | 2         |
|       | 76      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 82      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 86      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 87      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 88      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 94      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 96      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 99      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 100     | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 102     | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 104     | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         |
|       | 107     | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 113     | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
|       | 114     | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         |
| Total |         | 12        | 13        | 19        | 9         | 17        |

Fonte: Autora (2024).

#### 4. RESULTADOS E ANÁLISES

O presente capítulo apresenta os dados obtidos em campo pelos três ensaios realizados nas rodovias (Altura de Mancha de Areia, Valor de Resistência à Derrapagem e Afundamento de Trilha de Roda). Além disso, são apresentados aqui, os seus tratamentos, análises e interpretações objetivando estabelecer suas relações com o tráfego, idade e geometria das vias, bem como dos acidentes registrados nas mesmas.

Os ensaios feitos em campo foram realizados em locais definidos aleatoriamente com o intuito de representar da forma mais fidedigna as rodovias federais do Estado de Sergipe, como consta no Capítulo 3. Um dos objetivos da execução desses ensaios em campo visa constatar se a deficiência na aderência pneu-pavimento está sendo um fator relevante no quesito segurança nas rodovias investigadas.

##### 4.1. ANÁLISE DOS ENSAIOS DE CAMPO

Com os dados obtidos dos ensaios de campo puderam-se obter informações importantes com relação a situação do pavimento referente aos parâmetros avaliados para aderência. Também foram obtidos através desses dados as correlações existentes entre si e com acidentes registrados no período, o que será apresentado posteriormente.

São apresentados na tabela 18 os resultados obtidos nos ensaios de Altura de Mancha de Areia (HS), Valor de Resistência à Derrapagem com Pêndulo Britânico (VRD) e Afundamento de Trilha de Roda (ATR) em cada segmento estudado na BR-101.

Os resultados de HS e VRD para cada ponto avaliado são classificados de acordo com o DNIT (2006), sendo apresentados na tabela 19.

Dessa forma, observa-se que apenas 19 pontos (65, 66, 74, 114, 115, 116, 121, 152, 158, 169, 175, 177, 180, 186, 188, 198, 201, 202 e 204) apresentam boas condições de segurança viária tanto para microtextura, quanto macrotextura. Já 29 pontos (6, 11, 15, 17, 20, 23, 30, 34, 38, 43, 54, 64, 75, 79, 82, 84, 88, 94, 101, 104, 117, 122, 125, 130, 132, 144, 145, 182 e 185) apresentaram condições não satisfatórias para macrotextura ou microtextura. Com relação ao ATR, percebe-se que somente um segmento não foi satisfatório, o km 185, cujo TRI = 14 mm.

Tabela 18: Resultados dos ensaios da BR-101

| PONTO | MACROTEXTURA |            |            |              |            | MICROTEXTURA |                |      |      |      |      |      | ATR              |             |             |     |
|-------|--------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|----------------|------|------|------|------|------|------------------|-------------|-------------|-----|
|       | D1<br>(mm)   | D2<br>(mm) | D3<br>(mm) | D<br>(médio) | HS<br>(mm) | °C           | °C<br>corrigir | VRD1 | VRD2 | VRD3 | VRD4 | VRD5 | VRD<br>corrigido | TRI<br>(mm) | TRE<br>(mm) |     |
| 6     | 292          | 276        | 277        | 281,75       | 0,4        | 31,8         | 2              | 62   | 61   | 60   | 60   | 60   | 60,6             | 62,6        | 0           | 0   |
| 11    | 281          | 275        | 275        | 276,67       | 0,42       | 30,1         | 2              | 60   | 60   | 60   | 59   | 59   | 59,6             | 61,6        | 2           | 0   |
| 15    | 269          | 295        | 276        | 279,75       | 0,41       | 32,8         | 2              | 65   | 67   | 66   | 68   | 68   | 66,8             | 68,8        | 1           | 0   |
| 17    | 314          | 299        | 308        | 307          | 0,34       | 29,1         | 1              | 70   | 68   | 67   | 68   | 68   | 68,2             | 69,2        | 2           | 7   |
| 20    | 326          | 321        | 331        | 326          | 0,3        | 31,3         | 2              | 69   | 68   | 68   | 68   | 68   | 68,2             | 70,2        | 3           | 0   |
| 23    | 241          | 292        | 240        | 257,5        | 0,48       | 38,1         | 2              | 60   | 61   | 63   | 63   | 62   | 61,8             | 63,8        | 1           | 3   |
| 30    | 278          | 321        | 293        | 297,17       | 0,36       | 40,9         | 3              | 74   | 70   | 75   | 75   | 75   | 73,8             | 76,8        | 1           | 0   |
| 34    | 251          | 266        | 256        | 257,67       | 0,48       | 33,8         | 4              | 59   | 60   | 60   | 60   | 60   | 59,8             | 63,8        | 1,5         | 0   |
| 38    | 252          | 280        | 259        | 263,33       | 0,46       | 41,4         | 3              | 64   | 64   | 64   | 66   | 65   | 64,6             | 67,6        | 0           | 0   |
| 43    | 295          | 236        | 294        | 274,92       | 0,42       | 37,1         | 2              | 55   | 54   | 54   | 54   | 53   | 54               | 56          | 0           | 6,5 |
| 54    | 144          | 160        | 139        | 147,5        | 1,46       | 32,4         | 2              | 75   | 74   | 73   | 76   | 75   | 74,6             | 76,6        | 3,5         | 0   |
| 64    | 162          | 166        | 154        | 160,83       | 1,23       | 38,5         | 2              | 43   | 42   | 44   | 45   | 45   | 43,8             | 45,8        | 0           | 0   |
| 65    | 183          | 193        | 187        | 187,5        | 0,91       | 37,6         | 2              | 72   | 72   | 71   | 72   | 71   | 71,6             | 73,6        | 5           | 6   |
| 66    | 193          | 183        | 185        | 186,92       | 0,91       | 37,8         | 2              | 56   | 55   | 58   | 58   | 59   | 57,2             | 59,2        | 6           | 0   |
| 74    | 224          | 210        | 226        | 219,67       | 0,66       | 33,4         | 2              | 70   | 65   | 68   | 67   | 67   | 67,4             | 69,4        | 0           | 2   |
| 75    | 233          | 252        | 251        | 245,42       | 0,53       | 34,7         | 2              | 72   | 73   | 74   | 75   | 74   | 73,6             | 75,6        | 0           | 0   |
| 79    | 207          | 287        | 281        | 258,5        | 0,48       | 39,3         | 2              | 50   | 47   | 49   | 53   | 55   | 50,8             | 52,8        | 5           | 5   |
| 82    | 292          | 269        | 273        | 277,83       | 0,41       | 39,3         | 2              | 55   | 52   | 53   | 56   | 54   | 54               | 56          | 0           | 0   |
| 84    | 280          | 299        | 299        | 292,5        | 0,37       | 37,6         | 2              | 53   | 47   | 55   | 50   | 48   | 50,6             | 52,6        | 0           | 0   |
| 88    | 269          | 271        | 295        | 278          | 0,41       | 38,5         | 2              | 67   | 68   | 69   | 71   | 73   | 69,6             | 71,6        | 9           | 0   |
| 94    | 392          | 360        | 391        | 381          | 0,22       | 38,3         | 2              | 41   | 45   | 40   | 43   | 46   | 43               | 45          | 4           | 0   |
| 101   | 324          | 285        | 319        | 309,42       | 0,33       | 29,3         | 1              | 69   | 69   | 71   | 70   | 71   | 70               | 71          | 2           | 0   |
| 104   | 271          | 332        | 315        | 306          | 0,34       | 32,8         | 2              | 62   | 62   | 61   | 63   | 64   | 62,4             | 64,4        | 2           | 1   |
| 114   | 216          | 211        | 217        | 214,5        | 0,69       | 31,8         | 2              | 60   | 58   | 62   | 59   | 57   | 59,2             | 61,2        | 0           | 0   |

Continua na página seguinte

| MACROTEXTURA |            |            |            |              | MICROTEXTURA |      |                |      |      |      |      | ATR  |                  |             |             |    |
|--------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|------|----------------|------|------|------|------|------|------------------|-------------|-------------|----|
| PONTO        | D1<br>(mm) | D2<br>(mm) | D3<br>(mm) | D<br>(médio) | HS<br>(mm)   | °C   | °C<br>corrigir | VRD1 | VRD2 | VRD3 | VRD4 | VRD5 | VRD<br>corrigido | VRD<br>(mm) | TRE<br>(mm) |    |
| 115          | 167        | 164        | 180        | 170,08       | 1,1          | 34,5 | 2              | 75   | 73   | 73   | 76   | 76   | 74,6             | 76,6        | 0           | 0  |
| 116          | 231        | 193        | 230        | 218,08       | 0,67         | 27,8 | 1              | 66   | 67   | 65   | 64   | 64   | 65,2             | 66,2        | 3           | 0  |
| 117          | 229        | 278        | 246        | 251          | 0,51         | 30,6 | 2              | 57   | 56   | 57   | 58   | 60   | 57,6             | 59,6        | 0           | 2  |
| 121          | 235        | 228        | 211        | 224,67       | 0,63         | 36,8 | 2              | 62   | 62   | 60   | 60   | 60   | 60,8             | 62,8        | 0           | 0  |
| 122          | 255        | 252        | 235        | 247,08       | 0,52         | 35,7 | 2              | 49   | 48   | 48   | 48   | 48   | 48,2             | 50,2        | 0           | 0  |
| 125          | 272        | 269        | 256        | 265,58       | 0,45         | 32,7 | 2              | 62   | 62   | 62   | 62   | 60   | 61,6             | 63,6        | 2           | 0  |
| 130          | 297        | 237        | 207        | 246,83       | 0,52         | 34,6 | 2              | 70   | 71   | 73   | 70   | 73   | 71,4             | 73,4        | 1           | 1  |
| 132          | 289        | 286        | 295        | 289,75       | 0,38         | 35,3 | 2              | 65   | 65   | 65   | 64   | 65   | 64,8             | 66,8        | 0           | 0  |
| 144          | 309        | 321        | 297        | 308,92       | 0,33         | 30,9 | 2              | 65   | 63   | 64   | 64   | 64   | 64               | 66          | 1           | 1  |
| 145          | 330        | 309        | 283        | 307          | 0,34         | 32,9 | 2              | 62   | 61   | 59   | 60   | 63   | 61               | 63          | 1           | 2  |
| 152          | 216        | 187        | 232        | 211,58       | 0,71         | 30,5 | 2              | 47   | 45   | 44   | 46   | 47   | 45,8             | 47,8        | 0           | 1  |
| 158          | 199        | 180        | 179        | 186          | 0,92         | 32,7 | 2              | 55   | 55   | 56   | 58   | 57   | 56,2             | 58,2        | 0           | 3  |
| 169          | 181        | 180        | 194        | 184,75       | 0,93         | 36,8 | 2              | 55   | 57   | 58   | 58   | 58   | 57,2             | 59,2        | 2,5         | 0  |
| 175          | 183        | 182        | 168        | 177,5        | 1,01         | 37,3 | 2              | 53   | 53   | 52   | 52   | 52   | 52,4             | 54,4        | 1           | 0  |
| 177          | 180        | 186        | 177        | 181          | 0,97         | 31,9 | 2              | 54   | 53   | 54   | 52   | 54   | 53,4             | 55,4        | 5           | 0  |
| 180          | 200        | 203        | 206        | 202,75       | 0,77         | 36,1 | 2              | 53   | 54   | 53   | 54   | 55   | 53,8             | 55,8        | 3           | 1  |
| 182          | 238        | 248        | 225        | 236,67       | 0,57         | 32,5 | 2              | 66   | 67   | 68   | 66   | 67   | 66,8             | 68,8        | 0           | 0  |
| 185          | 224        | 210        | 218        | 217,25       | 0,67         | 34,1 | 2              | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40               | 42          | 14          | 11 |
| 186          | 227        | 220        | 246        | 230,75       | 0,6          | 35,2 | 2              | 47   | 45   | 46   | 45   | 45   | 45,6             | 47,6        | 3           | 2  |
| 188          | 210        | 231        | 205        | 215,5        | 0,69         | 33,5 | 2              | 60   | 60   | 60   | 60   | 62   | 60,4             | 62,4        | 2           | 0  |
| 198          | 184        | 193        | 177        | 184,33       | 0,94         | 33   | 2              | 55   | 55   | 54   | 54   | 56   | 54,8             | 56,8        | 10          | 0  |
| 201          | 188        | 179        | 162        | 176,25       | 1,02         | 30,7 | 2              | 66   | 66   | 67   | 68   | 68   | 67               | 69          | 0           | 4  |
| 202          | 196        | 209        | 206        | 203,75       | 0,77         | 29,7 | 2              | 60   | 58   | 60   | 59   | 60   | 59,4             | 61,4        | 0           | 0  |
| 204          | 191        | 203        | 190        | 194,5        | 0,84         | 32,4 | 2              | 62   | 64   | 63   | 63   | 62   | 62,8             | 64,8        | 2           | 1  |

Fonte: Autora (2024).

Tabela 19: Classificação dos pontos da BR-101

| Ponto | HS   | Classificação             | VRD  | Classificação            |
|-------|------|---------------------------|------|--------------------------|
| 6     | 0,40 | Média                     | 62,6 | Rugosa                   |
| 11    | 0,42 | Média                     | 61,6 | Rugosa                   |
| 15    | 0,41 |                           | 68,8 | Rugosa                   |
| 17    | 0,34 | Fina ou Fechada           | 69,2 | Rugosa                   |
| 20    | 0,30 | Fina ou Fechada           | 70,2 | Rugosa                   |
| 23    | 0,48 | Média                     | 63,8 | Rugosa                   |
| 30    | 0,36 | Fina ou Fechada           | 76,8 | Muito Rugosa             |
| 34    | 0,48 | Média                     | 63,8 | Rugosa                   |
| 38    | 0,46 | Média                     | 67,6 | Rugosa                   |
| 43    | 0,42 | Média                     | 56   | Rugosa                   |
| 54    | 1,46 | Muito Grosseira ou Aberta | 76,6 | Muito Rugosa             |
| 64    | 1,23 | Muito Grosseira ou Aberta | 45,8 | Insuficientemente Rugosa |
| 65    | 0,91 | Grosseira ou Aberta       | 73,6 | Rugosa                   |
| 66    | 0,91 | Grosseira ou Aberta       | 59,2 | Rugosa                   |
| 74    | 0,66 | Média                     | 69,4 | Rugosa                   |
| 75    | 0,53 | Média                     | 75,6 | Muito Rugosa             |
| 79    | 0,48 | Média                     | 52,8 | Medianamente Rugosa      |
| 82    | 0,41 | Média                     | 56   | Rugosa                   |
| 84    | 0,37 | Fina ou Fechada           | 52,6 | Medianamente Rugosa      |
| 88    | 0,41 | Média                     | 71,6 | Rugosa                   |
| 94    | 0,22 | Fina ou Fechada           | 45   | Insuficientemente Rugosa |
| 101   | 0,33 | Fina ou Fechada           | 71   | Rugosa                   |
| 104   | 0,34 | Fina ou Fechada           | 64,4 | Rugosa                   |
| 114   | 0,69 | Média                     | 61,2 | Rugosa                   |
| 115   | 1,10 | Grosseira ou Aberta       | 76,6 | Muito Rugosa             |
| 116   | 0,67 | Média                     | 66,2 | Rugosa                   |
| 117   | 0,51 | Média                     | 59,6 | Rugosa                   |
| 121   | 0,63 | Média                     | 62,8 | Rugosa                   |
| 122   | 0,52 | Média                     | 50,2 | Medianamente Rugosa      |
| 125   | 0,45 | Média                     | 63,6 | Rugosa                   |
| 130   | 0,52 | Média                     | 73,4 | Rugosa                   |
| 132   | 0,38 | Fina ou Fechada           | 66,8 | Rugosa                   |
| 144   | 0,33 | Fina ou Fechada           | 66   | Rugosa                   |
| 145   | 0,34 | Fina ou Fechada           | 63   | Rugosa                   |
| 152   | 0,71 | Média                     | 47,8 | Medianamente Rugosa      |
| 158   | 0,92 | Grosseira ou Aberta       | 58,2 | Rugosa                   |
| 169   | 0,93 | Grosseira ou Aberta       | 59,2 | Rugosa                   |
| 175   | 1,01 | Grosseira ou Aberta       | 54,4 | Medianamente Rugosa      |
| 177   | 0,97 | Grosseira ou Aberta       | 55,4 | Rugosa                   |

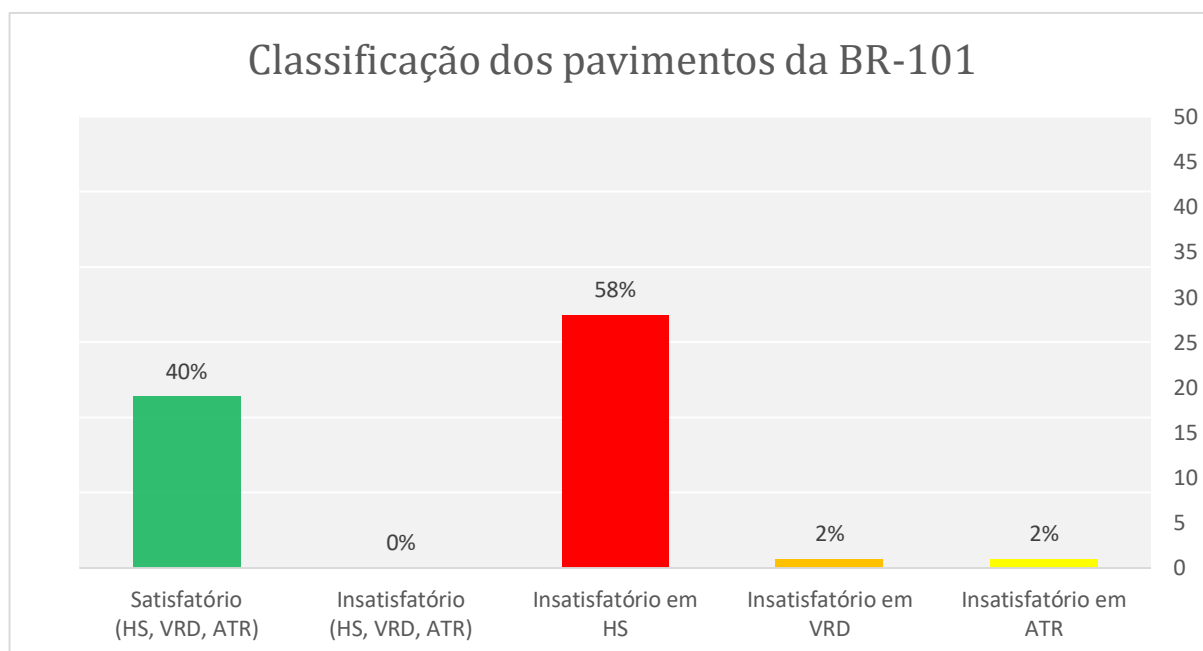
*Continua na página seguinte*

| Ponto              | HS   | Classificação       | VRD  | Classificação            |
|--------------------|------|---------------------|------|--------------------------|
| <i>Continuação</i> |      |                     |      |                          |
| 180                | 0,77 | Média               | 55,8 | Rugosa                   |
| 182                | 0,57 | Média               | 68,8 | Rugosa                   |
| 185                | 0,67 | Média               | 42   | Insuficientemente Rugosa |
| 186                | 0,60 | Média               | 47,6 | Medianamente Rugosa      |
| 188                | 0,69 | Média               | 62,4 | Rugosa                   |
| 198                | 0,94 | Grosseira ou Aberta | 56,8 | Rugosa                   |
| 201                | 1,02 | Grosseira ou Aberta | 69   | Rugosa                   |
| 202                | 0,77 | Média               | 61,4 | Rugosa                   |
| 204                | 0,84 | Grosseira ou Aberta | 64,8 | Rugosa                   |

Fonte: Autora (2024).

Como pode-se observar pela figura 38, que apresenta uma distribuição percentual dos pontos avaliados quanto à classificação de textura, a BR-101 teve 40% dos segmentos classificados como satisfatório em todos os parâmetros, 58% insatisfatório em macrotextura (HS), 2% insatisfatório em microtextura (VRD) e 2% insatisfatório em ATR. Observa-se que nenhum ponto avaliado obteve classificação insatisfatória simultaneamente nas três variáveis analisadas.

Figura 38: Classificação dos segmentos da BR-101 quanto à textura superficial



Fonte: Autora (2024).

Na tabela 20 são apresentados os resultados encontrados nos ensaios de Altura de Mancha de Areia (HS), Valor de Resistência à Derrapagem com Pêndulo

Britânico (VRD) e Afundamento de Trilha de Roda (ATR) em cada segmento estudado na BR-235. Já as classificações de acordo com o DNIT (2006) para cada parâmetro estudado são apresentadas na tabela 21.

Tabela 20: Resultado dos ensaios da BR-235

| PUNTO | MACROTEXTURA |            |            |              |            | MICROTEXTURA |                |      |      |      |      |      | ATR              |             |             |
|-------|--------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|----------------|------|------|------|------|------|------------------|-------------|-------------|
|       | D1<br>(mm)   | D2<br>(mm) | D3<br>(mm) | D<br>(médio) | HS<br>(mm) | °C           | °C<br>corrigir | VRD1 | VRD2 | VRD3 | VRD4 | VRD5 | VRD<br>corrigido | TRI<br>(mm) | TRE<br>(mm) |
| 3     | 239          | 204        | 234        | 225,25       | 0,63       | 37,5         | 2              | 51   | 52   | 53   | 50   | 51   | 51,4             | 53,4        | 3           |
| 13    | 162          | 165        | 205        | 177,25       | 1,01       | 30,7         | 2              | 54   | 56   | 55   | 53   | 53   | 54,2             | 56,2        | 0           |
| 15    | 211          | 189        | 203        | 200,83       | 0,79       | 33,1         | 2              | 57   | 58   | 60   | 61   | 62   | 59,6             | 61,6        | 2,5         |
| 17    | 177          | 201        | 180        | 186,08       | 0,92       | 33,2         | 2              | 54   | 52   | 53   | 52   | 51   | 52,4             | 54,4        | 1,5         |
| 24    | 227          | 200        | 189        | 205,42       | 0,75       | 34,5         | 2              | 82   | 81   | 81   | 83   | 82   | 81,8             | 83,8        | 0           |
| 31    | 174          | 169        | 167        | 169,75       | 1,1        | 31,3         | 2              | 54   | 54   | 53   | 54   | 52   | 53,4             | 55,4        | 2           |
| 34    | 201          | 192        | 184        | 192,25       | 0,86       | 30,8         | 2              | 56   | 53   | 54   | 55   | 55   | 54,6             | 56,6        | 0           |
| 44    | 236          | 194        | 191        | 206,83       | 0,74       | 36,3         | 2              | 55   | 56   | 57   | 57   | 56   | 56,2             | 58,2        | 1           |
| 49    | 256          | 320        | 290        | 288,67       | 0,38       | 37,3         | 2              | 58   | 59   | 58   | 57   | 58   | 58               | 60          | 0           |
| 55    | 204          | 209        | 196        | 202,75       | 0,77       | 37,9         | 2              | 47   | 48   | 46   | 47   | 48   | 47,2             | 49,2        | 2           |
| 58    | 189          | 162        | 167        | 172,58       | 1,07       | 38,1         | 2              | 54   | 52   | 51   | 51   | 52   | 52               | 54          | 0           |
| 60    | 181          | 163        | 174        | 172,42       | 1,07       | 37,6         | 2              | 51   | 55   | 56   | 57   | 55   | 54,8             | 56,8        | 1,5         |
| 61    | 169          | 180        | 169        | 172,67       | 1,07       | 36,6         | 2              | 58   | 61   | 59   | 57   | 59   | 58,8             | 60,8        | 2,5         |
| 76    | 189          | 167        | 166        | 173,92       | 1,05       | 38,9         | 2              | 54   | 55   | 56   | 56   | 55   | 55,2             | 57,2        | 8           |
| 82    | 171          | 159        | 157        | 162          | 1,21       | 39,6         | 2              | 54   | 55   | 56   | 56   | 54   | 55               | 57          | 2,5         |
| 86    | 169          | 164        | 163        | 165,25       | 1,17       | 32,5         | 2              | 49   | 47   | 47   | 47   | 46   | 47,2             | 49,2        | 9           |
| 87    | 170          | 159        | 167        | 165,33       | 1,16       | 35,8         | 2              | 60   | 59   | 59   | 60   | 61   | 59,8             | 61,8        | 13          |
| 88    | 167          | 165        | 169        | 167,17       | 1,14       | 36,6         | 2              | 63   | 62   | 62   | 61   | 60   | 61,6             | 63,6        | 11          |
| 94    | 156          | 153        | 160        | 156,17       | 1,31       | 34,1         | 2              | 58   | 60   | 62   | 62   | 63   | 61               | 63          | 7,5         |
| 96    | 162          | 174        | 171        | 168,75       | 1,12       | 36,8         | 2              | 62   | 63   | 63   | 65   | 65   | 63,6             | 65,6        | 1,5         |
| 99    | 180          | 159        | 177        | 171,83       | 1,08       | 33           | 2              | 55   | 56   | 55   | 54   | 57   | 55,4             | 57,4        | 6,5         |
| 100   | 166          | 168        | 162        | 165,08       | 1,17       | 33,5         | 2              | 54   | 52   | 53   | 52   | 53   | 52,8             | 54,8        | 8           |
| 102   | 169          | 181        | 170        | 173,17       | 1,06       | 28,5         | 1              | 59   | 57   | 56   | 56   | 60   | 57,6             | 58,6        | 7           |
| 104   | 175          | 192        | 182        | 182,92       | 0,95       | 31,1         | 2              | 64   | 65   | 66   | 64   | 65   | 64,8             | 66,8        | 7           |
| 107   | 170          | 195        | 191        | 185,08       | 0,93       | 31,1         | 2              | 66   | 65   | 66   | 65   | 67   | 65,8             | 67,8        | 4,5         |
| 113   | 177          | 161        | 188        | 175,25       | 1,04       | 41,8         | 3              | 44   | 44   | 45   | 45   | 45   | 44,6             | 47,6        | 6           |
| 114   | 179          | 182        | 193        | 184,42       | 0,94       | 41,8         | 3              | 50   | 51   | 53   | 54   | 54   | 52,4             | 55,4        | 4           |

Fonte: Autora (2024).

Dessa forma, observa-se que 24 segmentos (3, 13, 15, 17, 24, 31, 34, 44, 55, 58, 60, 61, 76, 86, 87, 88, 96, 99, 100, 102, 104, 107, 113 e 114) têm boas condições de segurança viária nos 2 parâmetros de textura avaliados. Já os outros 3 segmentos (49, 82 e 94) apresentaram condições não satisfatórias para macrotextura. Com relação ao ATR, dois segmentos ficaram acima do limite, o km 87, com um TRE = 13mm e o km 96, com um TRI = 16mm.

Tabela 21: Classificação dos pontos da BR-235

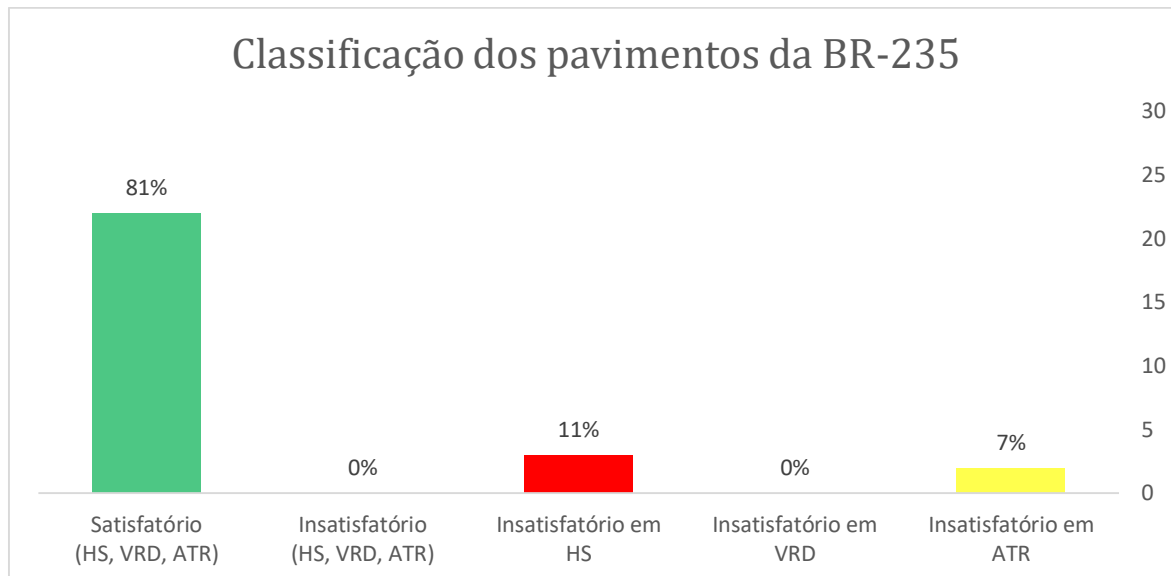
| PONTO | HS(mm) | Classificação             | VRD corrigido | Classificação       |
|-------|--------|---------------------------|---------------|---------------------|
| 3     | 0,63   | Média                     | 53,4          | Medianamente Rugosa |
| 13    | 1,02   | Grosseira ou Aberta       | 56,2          | Rugosa              |
| 15    | 0,79   | Média                     | 61,6          | Rugosa              |
| 17    | 0,92   | Grosseira ou Aberta       | 54,4          | Medianamente Rugosa |
| 24    | 0,75   | Média                     | 83,8          | Muito Rugosa        |
| 31    | 1,11   | Grosseira ou Aberta       | 55,4          | Rugosa              |
| 34    | 0,86   | Grosseira ou Aberta       | 56,6          | Rugosa              |
| 44    | 0,75   | Média                     | 58,2          | Rugosa              |
| 49    | 0,38   | Fina ou Fechada           | 60            | Rugosa              |
| 55    | 0,77   | Média                     | 49,2          | Medianamente Rugosa |
| 58    | 1,07   | Grosseira ou Aberta       | 54,0          | Medianamente Rugosa |
| 60    | 1,07   | Grosseira ou Aberta       | 56,8          | Rugosa              |
| 61    | 1,07   | Grosseira ou Aberta       | 60,8          | Rugosa              |
| 76    | 1,05   | Grosseira ou Aberta       | 57,2          | Rugosa              |
| 82    | 1,21   | Muito Grosseira ou Aberta | 57            | Rugosa              |
| 86    | 1,17   | Grosseira ou Aberta       | 49,2          | Medianamente Rugosa |
| 87    | 1,17   | Grosseira ou Aberta       | 61,8          | Rugosa              |
| 88    | 1,14   | Grosseira ou Aberta       | 63,6          | Rugosa              |
| 94    | 1,31   | Muito Grosseira ou Aberta | 63            | Rugosa              |
| 96    | 1,12   | Grosseira ou Aberta       | 65,6          | Rugosa              |
| 99    | 1,08   | Grosseira ou Aberta       | 57,6          | Rugosa              |
| 100   | 1,17   | Grosseira ou Aberta       | 54,8          | Medianamente Rugosa |
| 102   | 1,06   | Grosseira ou Aberta       | 58,6          | Rugosa              |
| 104   | 0,95   | Grosseira ou Aberta       | 66,8          | Rugosa              |
| 107   | 0,93   | Grosseira ou Aberta       | 67,8          | Rugosa              |
| 113   | 1,04   | Grosseira ou Aberta       | 47,6          | Medianamente Rugosa |
| 114   | 0,94   | Grosseira ou Aberta       | 55,4          | Rugosa              |

Fonte: Autora (2024).

Como pode-se observar pela figura 39, na qual está apresentada a distribuição percentual da classificação de textura dos segmentos, a BR-235 obteve 81% dos pavimentos classificados como satisfatório em todos os critérios, 11% insatisfatório em macrotextura (HS) e 7% insatisfatório em ATR. Sendo que nenhum ponto, obteve

classificação insatisfatória tanto para os três critérios quanto para a microtextura (VRD).

Figura 39: Classificação dos segmentos da BR-235 quanto à textura superficial



Fonte: Autora (2024).

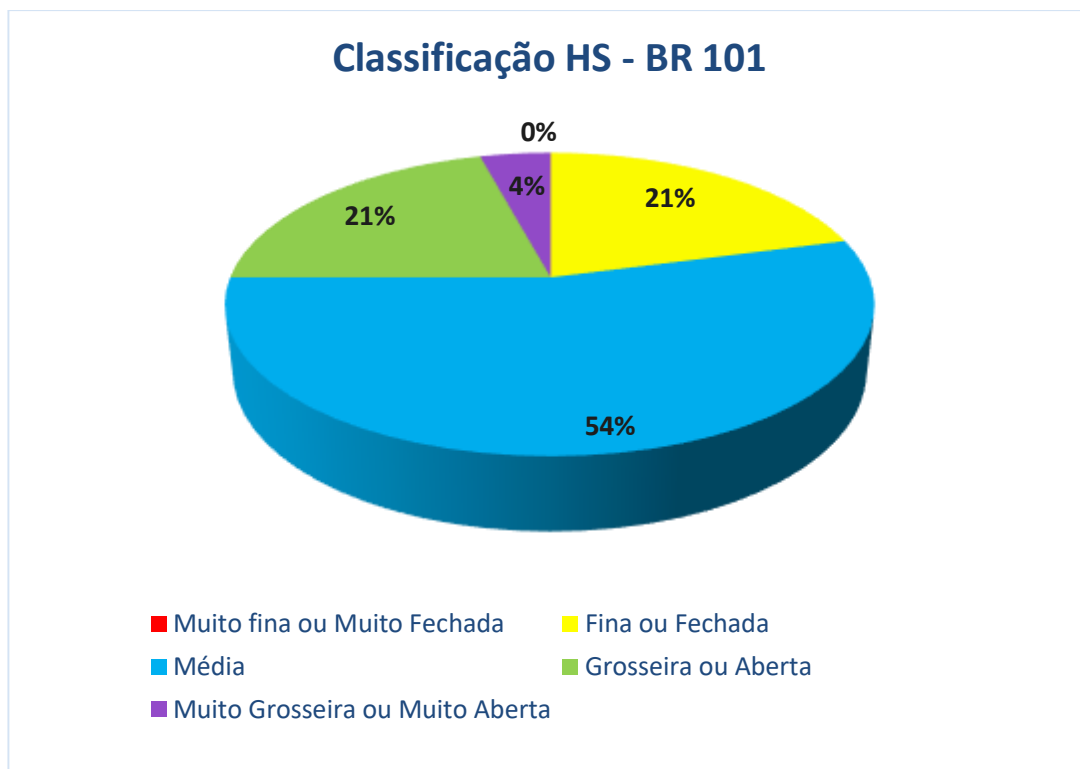
Observa-se que a BR-101 apresentou piores resultados com relação a textura do que a BR-235, principalmente com relação a macrotextura do pavimento. Isso mostra que a BR-101, em princípio, tem maior potencial de risco de acidentes com relação a falta de aderência entre pneu-pavimento. Cada um desses fatores estudados aqui (HS, VRD e ATR) serão discutidos na sequência.

#### 4.1.1. Altura de Mancha de Areia (HS)

Com relação ao HS, resultados de 28 pontos (6, 11, 15, 17, 20, 23, 30, 34, 38, 43, 54, 64, 75, 79, 82, 84, 88, 94, 101, 104, 117, 122, 125, 130, 132, 144, 145 e 182) da BR-101 apresentam profundidade média fora dos limites recomendados pelo DNIT (2006), que é entre 0,6 mm a 1,2 mm. Já outros 20 pontos (65, 66, 74, 114, 115, 116, 121, 152, 158, 169, 175, 177, 180, 185, 186, 188, 198, 201, 202 e 204), apresentam condições satisfatórias de macrotextura.

A partir dos valores dos ensaios obteve-se gráfico (figura 40) que pôde explicitar a situação da superfície do pavimento da BR-101 de acordo com a classificação da altura de mancha de areia, referente a macrotextura.

Figura 40: Distribuição da classificação do HS da BR-101



Fonte: Autora (2024).

Pela figura 40, pode-se observar que a maior parte dos trechos teve um classificação média para a macrotextura, sendo que a classificação ideal fica entre a média e a grosseira ou aberta. Ainda tem-se que em 21% dos pontos a macrotextura é grosseira ou aberta. Em outros 21% é considerada fina ou fechada, com apenas 4% considerada muito grosseira ou muito aberta.

Percebe-se que a maior parte dos segmentos da BR-101, foi insatisfatória para o HS. Isso pode ter sido ocasionado na execução do revestimento. A influência do nível de compactação torna-se evidente, uma vez que induz à redução da macrotextura, sendo observado principalmente para revestimentos em CAUQ, onde praticamente todo trecho estava com HS baixo. Este efeito decorre da aplicação sistemática e uniforme da carga pelo equipamento ao longo de toda extensão do revestimento, ocasionando a acomodação das partículas e, conseqüentemente, a diminuição de vazios. Esse fato pode ocasionar o acúmulo de água e a diminuição do atrito entre pneu e pavimento, podendo gerar a hidroplanagem.

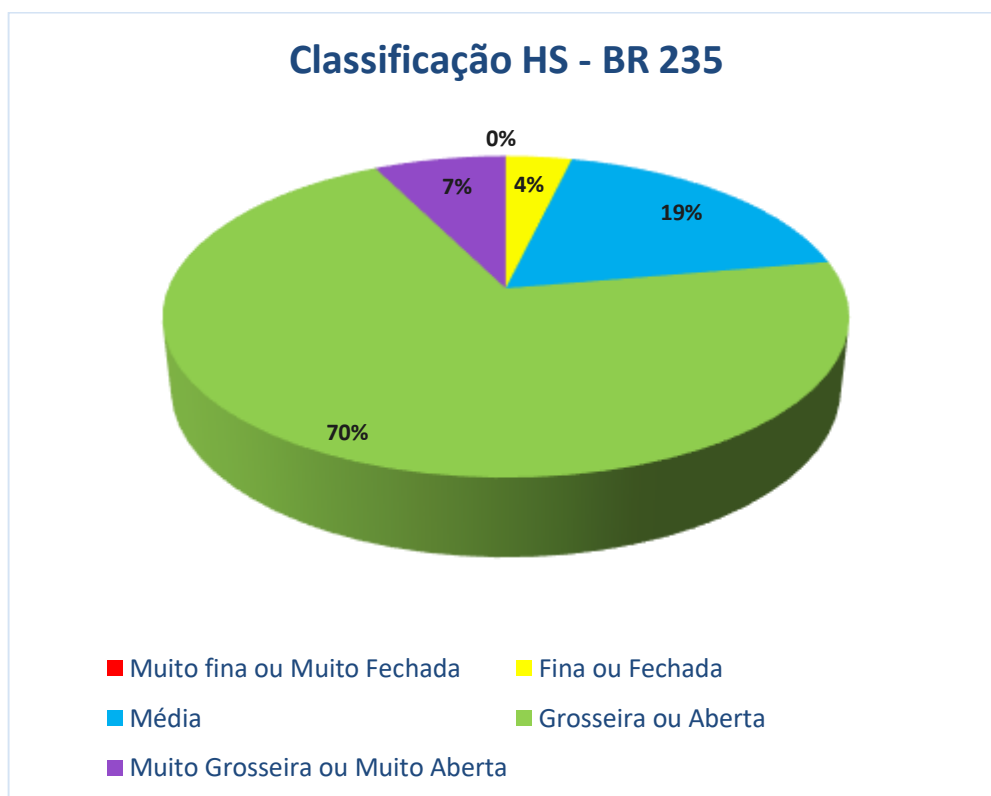
Observou-se também que muitos segmentos com problemas eram revestidos com microrevestimento. Nesse caso, presume-se que os problemas estejam relacionados com a idade do microrevestimento, pois é uma camada de revitalização,

especialmente de atrito, com uma durabilidade entre 2 e 3 anos. Vale destacar que a maior parte dos segmentos com microrrevestimento tinha 4 anos. Com essa idade e sob tráfego pesado, esse tipo de camada demonstra considerável desgaste, inicialmente com arrancamento da pequena fração de material britado existente na mistura, seguido pelo deslocamento completo da camada em estágios avançados de degradação.

Já para a BR-235 os resultados de 3 pontos (49, 82 e 94) apresentam profundidade média fora dos limites recomendados pelo DNIT (2006), enquanto outros 24 segmentos (3, 13, 15, 17, 24, 31, 34, 44, 55, 58, 60, 61, 76, 86, 87, 88, 96, 99, 100, 102, 104, 107, 113 e 114) apresentam condições satisfatórias de macrotextura.

A figura 41, contém o resumo da classificação dos segmentos referente à macrotextura.

Figura 41: Distribuição da classificação do HS da BR-235



Fonte: Autora (2024).

Pode-se observar na figura 41 que a maior parte dos segmentos teve um classificação grosseira ou aberta para a macrotextura, sendo que a classificação ideal

fica entre a média e a grosseira ou aberta. Ainda tem-se que 19% dos segmentos é média, em 7% é considera muito grosseira ou muito aberta e apenas em 4% é considerada fina ou fechada.

Para a BR-235, a maioria dos dados foi satisfatória para o HS. Apenas em 11% dos segmentos existe algum risco de hidroplanagem relacionado ao HS, segundo os limites estabelecidos pelos DNIT (2006). Percebe-se que os valores de HS para a BR-235 são maiores daqueles encontrados na BR-101 o que pode indicar uma compactação feita com um maior controle provocando uma menor redução do índice de vazios.

#### 4.1.2. Valor de Resistência à Derrapagem (VRD)

Com relação ao Valor de Resistência a Derrapagem (VRD), 47 pontos (6, 11, 15, 17, 20, 23, 30, 34, 38, 43, 54, 64, 65, 66, 74, 75, 79, 82, 84, 88, 94, 101, 104, 114, 115, 116, 117, 121, 122, 125, 130, 132, 144, 145, 152, 158, 169, 175, 177, 180, 182, 186, 188, 198, 201, 202 e 204) da BR-101 apresentaram condições satisfatórias de microtextura, enquanto 1 ponto (185) apresentou-se abaixo de 45 que é o limite mínimo recomendado pelo DNIT (2006).

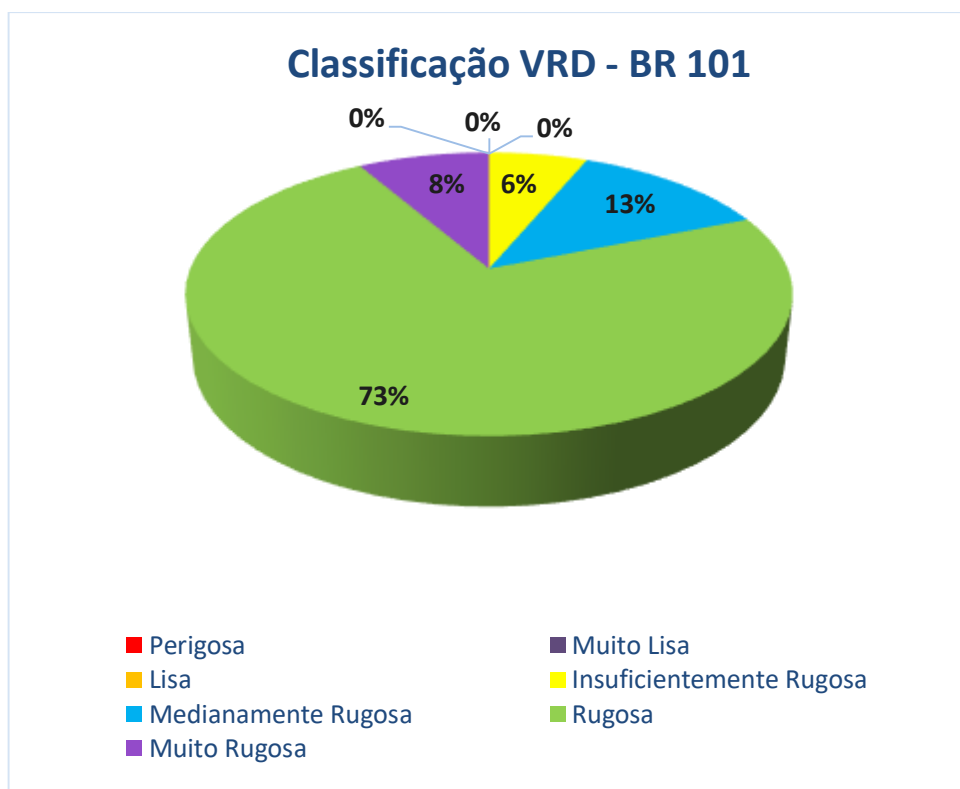
Já para a BR-235, todos os 27 segmentos (3, 13, 15, 17, 24, 31, 34, 44, 49, 55, 58, 60, 61, 76, 82, 86, 87, 88, 94, 96, 99, 100, 102, 104, 107, 113 e 114) apresentaram condições satisfatórias de microtextura, ou seja, apresentaram VRD acima de 45.

A partir dos valores dos ensaios obtiveram-se gráficos que pudessem explicitar a situação das superfícies do pavimento de acordo com a classificação para o VRD. É possível observar na figura 42 o estado de superfície da BR-101, enquanto que a figura 43 refere-se à BR-235.

Observa-se pela figura 42, que a maior parte está em condições satisfatórias de uso, 81% nas categorias rugosa e muito rugosa, 13% com uma classificação medianamente rugosa e 6% insuficientemente rugosa. Apenas o km 185, cuja classificação é insuficientemente rugosa, teve um VRD abaixo de 45.

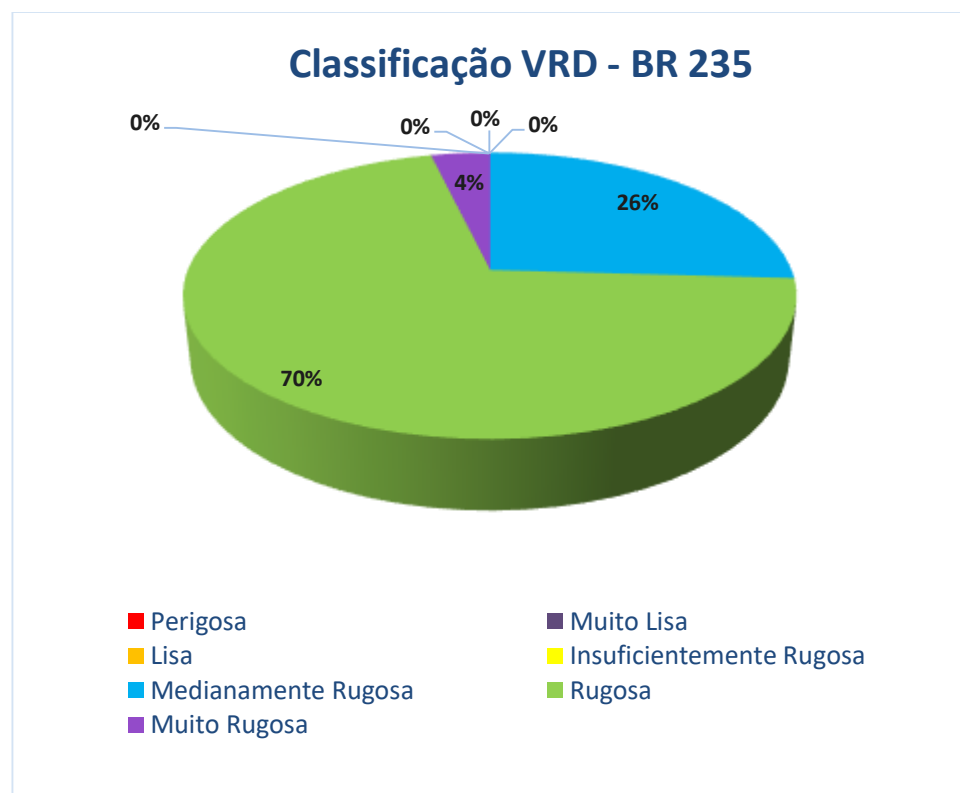
Já na figura 43, a extensão classificada como rugosa ou muito rugosa é de 74% e a medianamente rugosa é de 26%, sendo que toda a extensão representa condições satisfatórias de uso.

Figura 42: Distribuição da classificação do VRD da BR-101



Fonte: Autora (2024).

Figura 43: Distribuição da classificação do VRD da BR-235



Fonte: Autora (2024).

Percebe-se que para a BR-235, todos os segmentos foram satisfatórios para o VRD, somente a BR-101 teve um segmento que foi insatisfatório. Isso está relacionado com a superfície do agregado, ou seja, as propriedades mineralógicas dos agregados utilizados são boas o suficiente para manter um bom atrito pneu-pavimento. O trecho que não atendeu aos limites recomendados também exibiu uma deformação permanente insatisfatória. Dado que se trata de um ponto isolado, é possível que tal inadequação tenha sido causada por falhas na execução do revestimento ou na dosagem da mistura. Vale ressaltar que essa porção insatisfatória do trecho pode aumentar o risco de ocorrência de derrapagem.

#### 4.1.3. Afundamento de Trilha de Roda (ATR)

Com relação ao ATR percebe-se que 98% dos segmentos estudados na BR-101 ficaram no limite recomendado pelo DNIT (2006), ou seja, inferior a 12 mm. O único segmento que não foi satisfatório para o ATR foi o km 185, cujo TRI = 14 mm.

Na BR-235 perceberam-se dois segmentos com ATR acima do limite (km 87, com um TRE = 13mm; e o km 96, com um TRI = 16mm). Dessa forma, 93% dos segmentos estão satisfatórios em relação ao ATR.

Como foram poucos segmentos com o ATR fora dos limites recomendados, a causa não deve está relacionado ao tráfego, sendo mais provável a falha na dosagem da mistura asfáltica de acordo com o tráfego da região, o que ocasionou a formação de desníveis na superfície do pavimento, gerando perda das condições de conforto e rolamento. Nesses pontos há a ocorrência de acúmulo de água e a diminuição do atrito entre pneu e pavimento gerando risco ao usuário.

#### 4.1.4. *International Friction Index (IFI)*

As classificações de textura do DNIT (2006) são particulares para cada característica e não possuem correspondência entre si, devido aos comprimentos de onda distintos. Dessa forma, além da análise individual apresentada para microtextura (4.1.1) e macrotextura (4.1.2), foi feita uma análise de atrito, relacionando a macrotextura e a microtextura, através do índice IFI. Assim, nas Tabelas 22 e 23 são apresentados os resultados de  $S_p$ ,  $FR_{60}$  e  $F_{60}$  (devidamente descritos no item 3 desse trabalho), para cada segmento da BR-101 e BR-235, respectivamente.

Tabela 22: IFI calculado para a BR- 101

| PONTO | HS   | VRD  | S <sub>p</sub> | FR <sub>60</sub> | F <sub>60</sub> | Classificação (APS) |
|-------|------|------|----------------|------------------|-----------------|---------------------|
| 6     | 0,40 | 62,6 | 33,95          | 14,35            | 0,17            | Bom                 |
| 11    | 0,42 | 61,6 | 35,64          | 15,15            | 0,18            | Bom                 |
| 15    | 0,41 | 68,8 | 34,60          | 16,22            | 0,19            | Bom                 |
| 17    | 0,34 | 69,2 | 26,77          | 10,69            | 0,14            | Regular             |
| 20    | 0,30 | 70,2 | 22,42          | 7,55             | 0,12            | Regular             |
| 23    | 0,48 | 63,8 | 42,93          | 19,91            | 0,22            | Muito Bom           |
| 30    | 0,36 | 76,8 | 29,35          | 13,98            | 0,17            | Bom                 |
| 34    | 0,48 | 63,8 | 42,86          | 19,87            | 0,21            | Bom                 |
| 38    | 0,46 | 67,6 | 40,55          | 19,70            | 0,21            | Bom                 |
| 43    | 0,42 | 56   | 36,24          | 14,09            | 0,17            | Bom                 |
| 54    | 1,46 | 76,6 | 154,61         | 55,43            | 0,50            | Ótimo               |
| 64    | 1,23 | 45,8 | 128,19         | 31,01            | 0,30            | Muito Bom           |
| 65    | 0,91 | 73,6 | 91,26          | 42,55            | 0,40            | Ótimo               |
| 66    | 0,91 | 59,2 | 91,90          | 34,36            | 0,33            | Muito Bom           |
| 74    | 0,66 | 69,4 | 63,34          | 31,52            | 0,31            | Muito Bom           |
| 75    | 0,53 | 75,6 | 48,44          | 26,93            | 0,27            | Muito Bom           |
| 79    | 0,48 | 52,8 | 42,51          | 16,29            | 0,19            | Bom                 |
| 82    | 0,41 | 56   | 35,24          | 13,55            | 0,16            | Bom                 |
| 84    | 0,37 | 52,6 | 30,66          | 10,30            | 0,14            | Regular             |
| 88    | 0,41 | 71,6 | 35,19          | 17,29            | 0,19            | Bom                 |
| 94    | 0,22 | 45   | 13,31          | 1,05             | 0,06            | Muito Ruim          |
| 101   | 0,33 | 71   | 26,17          | 10,51            | 0,14            | Regular             |
| 104   | 0,34 | 64,4 | 27,02          | 10,12            | 0,14            | Regular             |
| 114   | 0,69 | 61,2 | 66,99          | 29,01            | 0,29            | Muito Bom           |
| 115   | 1,10 | 76,6 | 113,40         | 49,29            | 0,45            | Ótimo               |
| 116   | 0,67 | 66,2 | 64,43          | 30,47            | 0,30            | Muito Bom           |
| 117   | 0,51 | 59,6 | 45,80          | 20,00            | 0,22            | Muito Bom           |
| 121   | 0,63 | 62,8 | 60,04          | 27,31            | 0,27            | Muito Bom           |
| 122   | 0,52 | 50,2 | 47,63          | 17,57            | 0,20            | Muito Bom           |
| 125   | 0,45 | 63,6 | 39,67          | 18,03            | 0,20            | Muito Bom           |
| 130   | 0,52 | 73,4 | 47,75          | 25,76            | 0,26            | Muito Bom           |
| 132   | 0,38 | 66,8 | 31,47          | 13,64            | 0,17            | Bom                 |
| 144   | 0,33 | 66   | 26,29          | 9,85             | 0,13            | Regular             |
| 145   | 0,34 | 63   | 26,77          | 9,73             | 0,13            | Regular             |
| 152   | 0,71 | 47,8 | 69,17          | 23,20            | 0,24            | Muito Bom           |
| 158   | 0,92 | 58,2 | 92,92          | 33,98            | 0,33            | Muito Bom           |
| 169   | 0,93 | 59,2 | 94,34          | 34,85            | 0,33            | Muito Bom           |
| 175   | 1,01 | 54,4 | 103,17         | 33,51            | 0,32            | Muito Bom           |
| 177   | 0,97 | 55,4 | 98,78          | 33,39            | 0,32            | Muito Bom           |
| 180   | 0,77 | 55,8 | 76,36          | 28,99            | 0,29            | Muito Bom           |
| 182   | 0,57 | 68,8 | 52,96          | 26,76            | 0,27            | Muito Bom           |
| 185   | 0,67 | 42   | 65,01          | 19,46            | 0,21            | Bom                 |

Continua na página seguinte

| PONTO              | HS   | VRD  | Sp     | FR60  | F60  | Classificação (APS) |
|--------------------|------|------|--------|-------|------|---------------------|
| <i>Continuação</i> |      |      |        |       |      |                     |
| 186                | 0,60 | 47,6 | 56,31  | 19,59 | 0,21 | Bom                 |
| 188                | 0,69 | 62,4 | 66,26  | 29,34 | 0,29 | Muito Bom           |
| 198                | 0,94 | 56,8 | 94,82  | 33,52 | 0,32 | Muito Bom           |
| 201                | 1,02 | 69   | 104,80 | 42,82 | 0,40 | Ótimo               |
| 202                | 0,77 | 61,4 | 75,50  | 31,66 | 0,31 | Muito Bom           |
| 204                | 0,84 | 64,8 | 83,98  | 35,73 | 0,34 | Muito Bom           |

Fonte: Autora (2024).

Tabela 23: IFI calculado para a BR-235

| PONTO | HS   | VRD  | Sp     | FR <sub>60</sub> | F <sub>60</sub> | Classificação (APS) |
|-------|------|------|--------|------------------|-----------------|---------------------|
| 3     | 0,63 | 53,4 | 59,83  | 23,15            | 0,24            | Muito Bom           |
| 13    | 1,02 | 56,2 | 103,82 | 34,72            | 0,33            | Muito Bom           |
| 15    | 0,79 | 61,6 | 77,90  | 32,42            | 0,32            | Muito Bom           |
| 17    | 0,92 | 54,4 | 92,92  | 31,76            | 0,31            | Muito Bom           |
| 24    | 0,75 | 83,8 | 74,16  | 42,70            | 0,40            | Ótimo               |
| 31    | 1,11 | 55,4 | 114,51 | 35,80            | 0,34            | Muito Bom           |
| 34    | 0,86 | 56,6 | 86,15  | 31,68            | 0,31            | Muito Bom           |
| 44    | 0,75 | 58,2 | 73,06  | 29,36            | 0,29            | Muito Bom           |
| 49    | 0,38 | 60   | 31,79  | 12,45            | 0,16            | Bom                 |
| 55    | 0,77 | 49,2 | 76,15  | 25,52            | 0,26            | Muito Bom           |
| 58    | 1,07 | 54   | 110,16 | 34,30            | 0,33            | Muito Bom           |
| 60    | 1,07 | 56,8 | 110,16 | 36,08            | 0,34            | Muito Bom           |
| 61    | 1,07 | 60,8 | 109,69 | 38,54            | 0,36            | Ótimo               |
| 76    | 1,05 | 57,2 | 107,83 | 35,98            | 0,34            | Muito Bom           |
| 82    | 1,21 | 57   | 125,62 | 38,28            | 0,36            | Ótimo               |
| 86    | 1,17 | 49,2 | 121,22 | 32,57            | 0,32            | Muito Bom           |
| 87    | 1,17 | 61,8 | 121,76 | 40,99            | 0,38            | Ótimo               |
| 88    | 1,14 | 63,6 | 118,06 | 41,64            | 0,39            | Ótimo               |
| 94    | 1,31 | 63   | 136,99 | 43,73            | 0,41            | Ótimo               |
| 96    | 1,12 | 65,6 | 115,51 | 42,55            | 0,40            | Ótimo               |
| 99    | 1,08 | 57,6 | 111,10 | 36,73            | 0,35            | Muito Bom           |
| 100   | 1,17 | 54,8 | 121,22 | 36,28            | 0,35            | Muito Bom           |
| 102   | 1,06 | 58,6 | 108,76 | 37,00            | 0,35            | Muito Bom           |
| 104   | 0,95 | 66,8 | 96,38  | 39,76            | 0,37            | Ótimo               |
| 107   | 0,93 | 67,8 | 94,05  | 39,84            | 0,37            | Ótimo               |
| 113   | 1,04 | 47,6 | 106,47 | 29,76            | 0,29            | Muito Bom           |
| 114   | 0,94 | 55,4 | 94,82  | 32,70            | 0,32            | Muito Bom           |

Fonte: Autora (2024).

Como mostrado nas Tabelas 22 e 23, todos os segmentos estudados na BR-101 e na BR-235 foram classificados, segundo o IFI, para condições de textura em uma velocidade equivalente de 60km/h. Analisando o IFI para a BR-101, observa-se

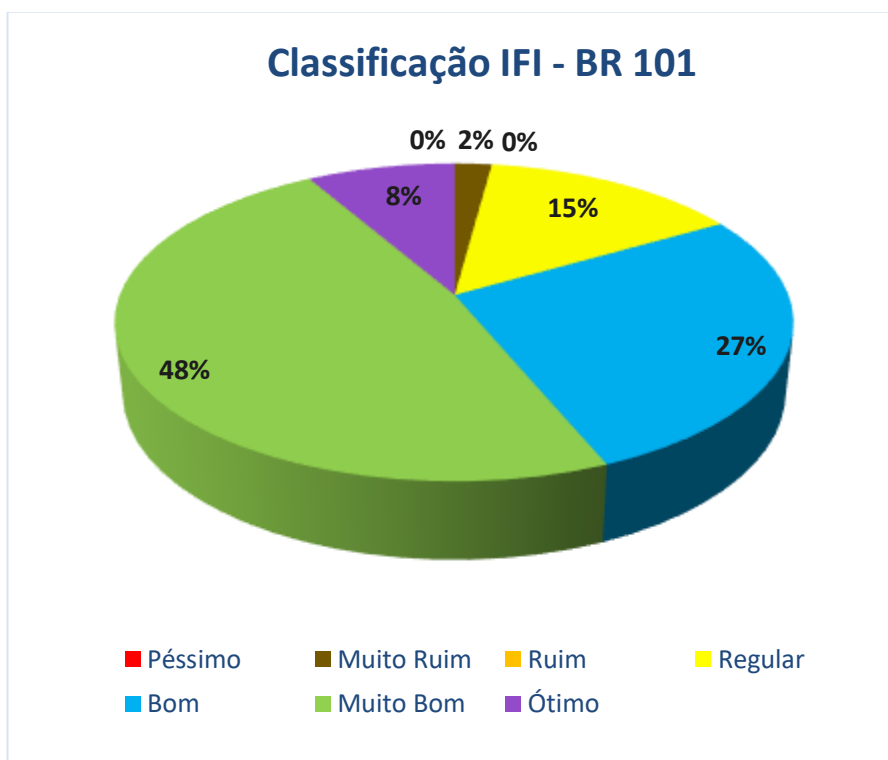
que 83% dos segmentos foram classificados como “bom”, “muito bom” ou “ótimo”, indicando que a maioria dos pavimentos apresentam uma condição satisfatória. Cerca de 15% dos segmentos foram classificados como “regular”, ou seja, no limiar para uma condição perigosa e 2% dos segmentos classificados como “muito ruim”.

Já para BR-235, todos os segmentos apresentaram classificação “bom”, “muito bom” ou “ótimo”, ou seja, condições satisfatórias. Por outro lado, de acordo com a figura 39, a mesma via apresentava 11% dos segmentos insatisfatórios para macrotextura. Certamente existe uma compensação ao índice de atrito no modelo que envolve HS e VRD, pois observando-se o modelo do IFI, percebe-se que os valores VRD influenciaram mais nos cálculos que os de HS.

Na figura 44, está apresentada a distribuição de frequência das classes do IFI para BR-101, sendo que 83% dos segmentos foi classificado como bom, muito bom e ótimo. Por outro lado, 15% foi classificado como regular e 2% muito ruim.

Já na figura 45, está apresentada a distribuição de frequência do IFI para a BR-235. Todos os segmentos foram considerados satisfatórios, 63% dos segmentos classificados como muito bom, 33% como ótimo e 4% como bom.

Figura 44: Distribuição de frequência do IFI da BR-101

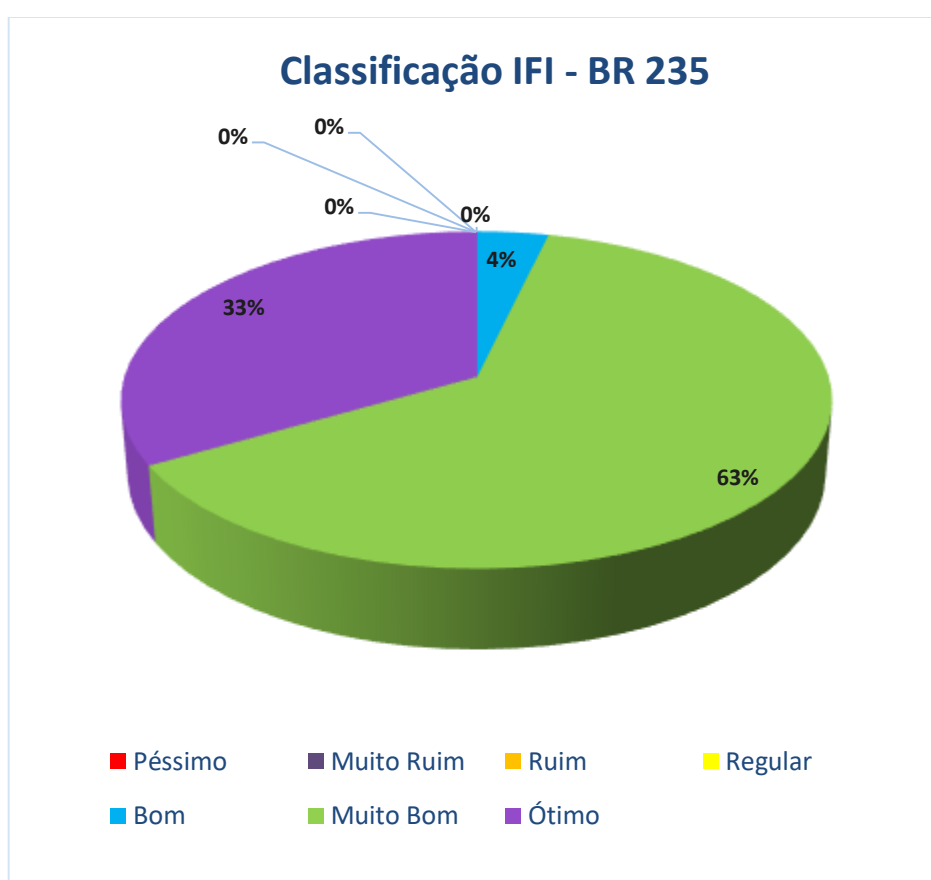


Fonte: Autora (2024).

Fazendo uma análise comparativa entre a BR-101 e BR-235, é possível notar que a BR-235 possui melhores condições de atrito.

Observa-se também que o cálculo de IFI é mais dependente dos valores de VRD que os HS. Este fato se deve a correlação da medida de macro e microtextura, pois, em alguns casos, mesmo uma destas medidas apresentando valores desfavoráveis, o outro fator elevava o nível alterando assim a classificação do IFI, principalmente quando os valores das medidas de VRD eram bons e os valores de HS eram baixos.

Figura 45: Distribuição de frequência do IFI da BR-235



Fonte: Autora (2024).

A análise conjunta dos dados é crucial, dado que em determinadas instâncias, é possível constatar medidas aquém do limiar requerido para um dos parâmetros. Contudo, os valores de Índice de Atrito (IFI) foram favoráveis.

#### 4.2. ANÁLISE DE ADERÊNCIA

Com relação à ocorrência de acidentes, vários estudos vêm tentando relacionar as medidas de aderência pneu-pavimento com o índice de acidentes. Sabe-se que um melhor coeficiente de atrito aumenta a segurança do pavimento. Portanto, nesse presente trabalho foi feita uma tentativa de relacionar dados obtidos nos ensaios para avaliação de textura com números de acidentes para as rodovias federais do estado de Sergipe, dados esses constantes no histórico da Polícia Rodoviária Federal (PRF). Cabe reforçar que a seleção dos trechos analisados foi feita de forma aleatória e não se balizou no maior ou menor número de acidentes registrados nas vias. Portanto, os registros de acidentes aqui apresentados são específicos dos segmentos selecionados, podendo existir outros segmentos mais críticos com relação a acidentes. Além disso, foram fornecidas pela PRF apenas as ocorrências de acidentes em cada ano, sem as informações de datas e causas dos mesmos. A tabela 24 tem os dados de aderência, classificação da geometria, Número “N”, tipo de revestimento, idade de capa do pavimento e acidentes da BR-101.

Tabela 24: Dados de aderência, características da via e número de acidentes da BR-101

| <b>BR-101</b> |               |                          |                |                |            |                  |                        |                                 |                              |                  |
|---------------|---------------|--------------------------|----------------|----------------|------------|------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------|
| <b>PONTO</b>  | <b>HS(mm)</b> | <b>VRD<br/>corrigido</b> | <b>TRI(mm)</b> | <b>TRE(mm)</b> | <b>IFI</b> | <b>Acidentes</b> | <b>FE<br/>(AASHTO)</b> | <b>Tipo de<br/>Revestimento</b> | <b>Idade<br/>de<br/>Capa</b> | <b>Geometria</b> |
| 6             | 0,40          | 62,6                     | 0              | 0              | 0,17       | 0                | 5,41E+05               | CAUQ                            | 1                            | Tangente rural   |
| 11            | 0,42          | 61,6                     | 2              | 0              | 0,18       | 0                | 5,45E+05               | CAUQ                            | 1                            | Tangente rural   |
| 15            | 0,41          | 68,8                     | 1              | 0              | 0,19       | 0                | 5,48E+05               | CAUQ                            | 1                            | Tangente rural   |
| 17            | 0,34          | 69,2                     | 2              | 7              | 0,14       | 0                | 5,49E+05               | CAUQ                            | 1                            | Curva rural      |
| 20            | 0,30          | 70,2                     | 3              | 0              | 0,12       | 0                | 5,51E+05               | CAUQ                            | 1                            | Curva rural      |
| 23            | 0,48          | 63,8                     | 1              | 3              | 0,22       | 2                | 5,53E+05               | CAUQ                            | 1                            | Tangente rural   |
| 30            | 0,36          | 76,8                     | 1              | 0              | 0,17       | 1                | 5,58E+05               | CAUQ                            | 1                            | Tangente rural   |
| 34            | 0,48          | 63,8                     | 1,5            | 0              | 0,21       | 0                | 5,61E+05               | CAUQ                            | 1                            | Curva urbana     |
| 38            | 0,46          | 67,6                     | 0              | 0              | 0,21       | 0                | 5,64E+05               | CAUQ                            | 1                            | Curva rural      |
| 43            | 0,42          | 56                       | 0              | 6,5            | 0,17       | 0                | 2,41E+06               | Microrevestimento               | 4                            | Curva rural      |
| 54            | 1,46          | 76,6                     | 3,5            | 0              | 0,50       | 2                | 2,92E+06               | Microrevestimento               | 4                            | Tangente urbana  |
| 64            | 1,23          | 45,8                     | 0              | 0              | 0,30       | 0                | 3,73E+06               | Microrevestimento               | 4                            | Tangente rural   |
| 65            | 0,91          | 73,6                     | 5              | 6              | 0,40       | 0                | 3,82E+06               | Microrevestimento               | 4                            | Tangente rural   |
| 66            | 0,91          | 59,2                     | 6              | 0              | 0,33       | 0                | 3,90E+06               | Microrevestimento               | 4                            | Tangente rural   |
| 74            | 0,66          | 69,4                     | 0              | 2              | 0,31       | 3                | 3,31E+06               | Placa CCP                       | 3                            | Tangente rural   |
| 75            | 0,53          | 75,6                     | 0              | 0              | 0,27       | 0                | 3,37E+06               | Placa CCP                       | 3                            | Curva urbana     |
| 79            | 0,48          | 52,8                     | 5              | 5              | 0,19       | 0                | 4,96E+06               | Microrevestimento               | 4                            | Tangente rural   |
| 82            | 0,41          | 56                       | 0              | 0              | 0,16       | 1                | 5,20E+06               | Microrevestimento               | 4                            | Tangente rural   |
| 84            | 0,37          | 52,6                     | 0              | 0              | 0,14       | 2                | 5,37E+06               | Microrevestimento               | 4                            | Tangente rural   |

*Continua na página seguinte*

| PONTO              | HS(mm) | VRD<br>corrigido | TRI(mm) | TRE(mm) | IFI  | Acidentes | FE<br>(AASHTO) | Tipo de<br>Revestimento | Idade<br>de<br>Capa | Geometria       |
|--------------------|--------|------------------|---------|---------|------|-----------|----------------|-------------------------|---------------------|-----------------|
| <i>Continuação</i> |        |                  |         |         |      |           |                |                         |                     |                 |
| 88                 | 0,41   | 71,6             | 9       | 0       | 0,19 | 3         | 5,56E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Tangente urbana |
| 94                 | 0,22   | 45               | 4       | 0       | 0,06 | 4         | 5,24E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Tangente urbana |
| 101                | 0,33   | 71               | 2       | 0       | 0,14 | 0         | 4,86E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Tangente rural  |
| 104                | 0,34   | 64,4             | 2       | 1       | 0,14 | 2         | 4,70E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Tangente urbana |
| 114                | 0,69   | 61,2             | 0       | 0       | 0,29 | 1         | 4,17E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Curva urbana    |
| 115                | 1,10   | 76,6             | 0       | 0       | 0,45 | 2         | 4,11E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Curva rural     |
| 116                | 0,67   | 66,2             | 3       | 0       | 0,30 | 1         | 4,06E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Tangente rural  |
| 117                | 0,51   | 59,6             | 0       | 2       | 0,22 | 0         | 4,01E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Tangente rural  |
| 121                | 0,63   | 62,8             | 0       | 0       | 0,27 | 1         | 3,79E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Curva rural     |
| 122                | 0,52   | 50,2             | 0       | 0       | 0,20 | 0         | 3,74E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Curva rural     |
| 125                | 0,45   | 63,6             | 2       | 0       | 0,20 | 0         | 3,58E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Tangente rural  |
| 130                | 0,52   | 73,4             | 1       | 1       | 0,26 | 0         | 3,31E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Tangente rural  |
| 132                | 0,38   | 66,8             | 0       | 0       | 0,17 | 0         | 3,20E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Tangente rural  |
| 144                | 0,33   | 66               | 1       | 1       | 0,13 | 0         | 2,56E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Tangente rural  |
| 145                | 0,34   | 63               | 1       | 2       | 0,13 | 0         | 2,51E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Tangente rural  |
| 152                | 0,71   | 47,8             | 0       | 1       | 0,24 | 5         | 2,47E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Curva urbana    |
| 158                | 0,92   | 58,2             | 0       | 3       | 0,33 | 0         | 2,49E+06       | Microrevestimento       | 4                   | Curva rural     |
| 169                | 0,93   | 59,2             | 2,5     | 0       | 0,33 | 1         | 1,88E+06       | Microrevestimento       | 3                   | Curva urbana    |
| 175                | 1,01   | 54,4             | 1       | 0       | 0,32 | 0         | 1,89E+06       | Microrevestimento       | 3                   | Tangente urbana |
| 177                | 0,97   | 55,4             | 5       | 0       | 0,32 | 0         | 1,90E+06       | Microrevestimento       | 3                   | Curva urbana    |
| 180                | 0,77   | 55,8             | 3       | 1       | 0,29 | 0         | 1,90E+06       | Microrevestimento       | 3                   | Tangente urbana |
| 182                | 0,57   | 68,8             | 0       | 0       | 0,27 | 2         | 1,91E+06       | Microrevestimento       | 3                   | Curva urbana    |
| 185                | 0,67   | 42               | 14      | 11      | 0,21 | 1         | 1,92E+06       | Microrevestimento       | 3                   | Tangente rural  |
| 186                | 0,60   | 47,6             | 3       | 2       | 0,21 | 0         | 1,92E+06       | Microrevestimento       | 3                   | Tangente rural  |
| 188                | 0,69   | 62,4             | 2       | 0       | 0,29 | 0         | 1,93E+06       | Microrevestimento       | 3                   | Tangente rural  |
| 198                | 0,94   | 56,8             | 10      | 0       | 0,32 | 0         | 3,28E+06       | Microrevestimento       | 5                   | Curva urbana    |
| 201                | 1,02   | 69               | 0       | 4       | 0,40 | 0         | 3,29E+06       | Microrevestimento       | 5                   | Tangente rural  |
| 202                | 0,77   | 61,4             | 0       | 0       | 0,31 | 0         | 3,30E+06       | Microrevestimento       | 5                   | Tangente rural  |
| 204                | 0,84   | 64,8             | 2       | 1       | 0,34 | 1         | 3,30E+06       | Microrevestimento       | 5                   | Tangente rural  |

Fonte: Autora (2024).

Analisando-se as deformações permanentes da BR-101, pode-se observar um ponto crítico que é no km 185, onde o TRI é de 14 mm, acima do recomendado pelo DNIT(2006) que é até 12 mm. Sendo que nesse ponto também há a presença de 1 acidente e de uma microtextura não satisfatória, porém a macrotextura e o IFI estão dentro dos limites recomendados. Dessa forma, como o ATR está fora dos limites recomendados nesse ponto e a microtextura não foi satisfatória, isso pode ter influenciado no acidente que aconteceu nesse trecho.

Com relação à BR-235, de acordo com a tabela 25 que tem os dados de aderência, características da via e acidentes da BR-235, pode-se observar dois pontos críticos relacionados às trilhas de rodas que são o km 87, com o TRE de 13 mm e o

km 96, com o TRI de 16 mm, ambos acima do recomendado pelo DNIT(2006) que é até 12 mm. Porém, nesses dois pontos, não foram observados acidentes, além da macrotextura e microtextura estarem dentro dos limites recomendados.

Tabela 25: Dados de aderência, características da via e número de acidentes da BR-235

| BR-235 |        |               |         |         |      |           |             |                      |               |                 |
|--------|--------|---------------|---------|---------|------|-----------|-------------|----------------------|---------------|-----------------|
| PONTO  | HS(mm) | VRD corrigido | TRI(mm) | TRE(mm) | IFI  | Acidentes | FE (AASHTO) | Tipo de Revestimento | Idade de Capa | Geometria       |
| 3      | 0,63   | 53,4          | 8       | 3       | 0,24 | 3         | 2,17E+06    | Microrevestimento    | 4             | Curva urbana    |
| 13     | 1,01   | 56,2          | 5       | 0       | 0,33 | 1         | 2,22E+06    | Microrevestimento    | 4             | Curva rural     |
| 15     | 0,79   | 61,6          | 5,5     | 2,5     | 0,32 | 2         | 2,23E+06    | Microrevestimento    | 4             | Tangente rural  |
| 17     | 0,92   | 54,4          | 4,5     | 1,5     | 0,31 | 1         | 2,24E+06    | Microrevestimento    | 4             | Tangente rural  |
| 24     | 0,75   | 83,8          | 10,5    | 0       | 0,40 | 0         | 2,27E+06    | Microrevestimento    | 4             | Curva urbana    |
| 31     | 1,10   | 55,4          | 4,5     | 2       | 0,34 | 0         | 2,30E+06    | Microrevestimento    | 4             | Curva urbana    |
| 34     | 0,86   | 56,6          | 4,5     | 0       | 0,31 | 0         | 1,32E+08    | Microrevestimento    | 7             | Tangente urbana |
| 44     | 0,74   | 58,2          | 6       | 1       | 0,29 | 2         | 1,35E+08    | Microrevestimento    | 7             | Tangente urbana |
| 49     | 0,38   | 60            | 3       | 0       | 0,16 | 1         | 1,36E+08    | Microrevestimento    | 7             | Tangente urbana |
| 55     | 0,77   | 49,2          | 2       | 2       | 0,26 | 2         | 1,38E+08    | Microrevestimento    | 7             | Tangente rural  |
| 3      | 0,63   | 53,4          | 8       | 3       | 0,24 | 3         | 2,17E+06    | Microrevestimento    | 4             | Curva urbana    |
| 60     | 1,07   | 56,8          | 1,5     | 1,5     | 0,34 | 0         | 1,39E+08    | TSD                  | 7             | Curva rural     |
| 61     | 1,07   | 60,8          | 8       | 2,5     | 0,36 | 2         | 1,39E+08    | TSD                  | 7             | Curva rural     |
| 76     | 1,05   | 57,2          | 10      | 8       | 0,34 | 0         | 1,43E+08    | TSD                  | 7             | Curva urbana    |
| 82     | 1,21   | 57            | 8,5     | 2,5     | 0,36 | 0         | 1,45E+08    | TSD                  | 7             | Tangente rural  |
| 86     | 1,17   | 49,2          | 5,5     | 9       | 0,32 | 0         | 1,46E+08    | TSD                  | 7             | Curva rural     |
| 87     | 1,16   | 61,8          | 8,5     | 13      | 0,38 | 0         | 1,46E+08    | TSD                  | 7             | Tangente rural  |
| 88     | 1,14   | 63,6          | 9       | 11      | 0,39 | 0         | 1,47E+08    | TSD                  | 7             | Curva rural     |
| 94     | 1,31   | 63            | 8       | 7,5     | 0,41 | 0         | 2,60E+06    | TSD                  | 4             | Curva rural     |
| 96     | 1,12   | 65,6          | 16      | 1,5     | 0,40 | 0         | 2,61E+06    | TSD                  | 4             | Tangente rural  |
| 99     | 1,08   | 57,4          | 3,5     | 6,5     | 0,35 | 0         | 2,62E+06    | TSD                  | 4             | Tangente rural  |
| 100    | 1,17   | 54,8          | 4       | 8       | 0,35 | 0         | 2,62E+06    | TSD                  | 4             | Tangente urbana |
| 102    | 1,06   | 58,6          | 5,5     | 7       | 0,35 | 0         | 2,63E+06    | TSD                  | 4             | Curva rural     |
| 104    | 0,95   | 66,8          | 9,5     | 7       | 0,37 | 1         | 2,64E+06    | TSD                  | 4             | Tangente urbana |
| 107    | 0,93   | 67,8          | 3,5     | 4,5     | 0,37 | 0         | 2,66E+06    | TSD                  | 4             | Tangente rural  |
| 113    | 1,04   | 47,6          | 5       | 6       | 0,29 | 0         | 2,69E+06    | TSD                  | 4             | Tangente rural  |
| 114    | 0,94   | 55,4          | 5       | 4       | 0,32 | 1         | 2,69E+06    | TSD                  | 4             | Tangente rural  |

Fonte: Autora (2024).

Os dados apresentados nas Tabelas 24 e 25 para cada segmento da BR-101 e BR-235 são também apresentados em gráficos unifilares, através das Figuras 46 e 47, respectivamente, para uma melhor visualização da distribuição espacial das variáveis estudadas nessa pesquisa.



Analisando a BR-101, observou-se que com relação ao HS a superfície que apresentou o pior desempenho foi a construída com CAUQ, que possui todos os segmentos com o HS menor do que o limite recomendado pelo DNIT (2006). Isso pode ser observado já que na construção de um pavimento novo com CAUQ se atenta mais as propriedades estruturais do que com a textura do pavimento, principalmente nas misturas dosadas na Faixa Granulométrica “C” (DNIT, 2006), a qual fornece alta densidade e textura relativamente fechada já na abertura ao tráfego.

É possível notar que a maioria dos acidentes aconteceram em pavimentos com HS baixo e em segmentos que estão próximos às cidades. Isso mostra que os acidentes registrados nas rodovias federais de Sergipe foram mais influenciados por características como a macrotextura e o tráfego.

Nesta pesquisa, a qualidade do pavimento em relação à micro e macrotextura está mais relacionada à duplicação ou não de pista. Pistas simples apresentaram melhores HS e VRD se comparadas com pistas duplicadas, onde sempre uma ou as duas variáveis são críticas. Isso pode ser observado também quanto aos anos das intervenções. As intervenções realizadas há 5 anos apresentaram melhores valores de macrotextura e microtextura. Já as intervenções realizadas há 4 anos apresentaram valores baixos de macrotextura, e as intervenções de 3 anos apresentaram grandes variações de valores.

Além disso, nota-se que a maioria de registros de acidentes ocorreram próximos às cidades (chegadas e saídas), onde há a presença de tráfego elevado, que apresenta diariamente grandes movimentações de veículos entre as cidades. O risco de acidentes além de ser aumentado pelo tráfego elevado, também ocasiona um risco devido ao desgaste da textura do pavimento nessas regiões. Dessa forma, percebe-se que o tráfego pode ser o maior responsável pelo número de acidentes.

Outro ponto é que a microtextura para a presente pesquisa não sofreu grandes perdas com a ação do tráfego. Como pode ser observado pela Figura 46, o valor de resistência à derrapagem das intervenções mais antigas estão na mesma grandeza que os valores encontrados para as intervenções mais recentes.

O ano da última intervenção não foi um grande fator de diferenciação, pois esperava-se que o pavimento mais antigo, o que sofreu uma intervenção há 5 anos, apresentasse o pior desempenho, principalmente no quesito desgaste do pavimento devido ao tráfego, contudo isto não aconteceu. Em alguns casos, superfícies que tiveram uma intervenção há 3 anos apresentaram um desempenho pior que a de

intervenções há mais tempo, como a de 5 anos.

Fazendo uma análise de pontos críticos da BR-101 (que tiveram maior número de acidentes), destaca-se o km 94. Nesse ponto, observa-se que tanto a macrotextura como a microtextura obtiveram condições insatisfatórias, consequentemente o IFI também foi abaixo do limite.

Uma outra condição a observar no km 94 é o alto tráfego e o fato dele ser no final de uma tangente urbana, no encontro com uma rótula, por ser uma área de grande movimentação, isso é um outro fator que pode ter influenciado em um maior número de acidentes.

Outro ponto que teve um grande número de acidentes foi o km 152. Nesse ponto a macrotextura e microtextura foram satisfatórias, resultando numa boa classificação do IFI.

Contudo, o km 152 está situado em uma geometria de curva urbana equipada com radar. Dado ao risco intrínseco das curvas e sua proximidade com uma área urbana, esse contexto pode ter exercido influência no notável número de cinco acidentes registrados nesse trecho, o qual apresentou o número mais elevado.

Já com relação a BR-235, a figura 47 trás o gráfico unifilar para essa rodovia.

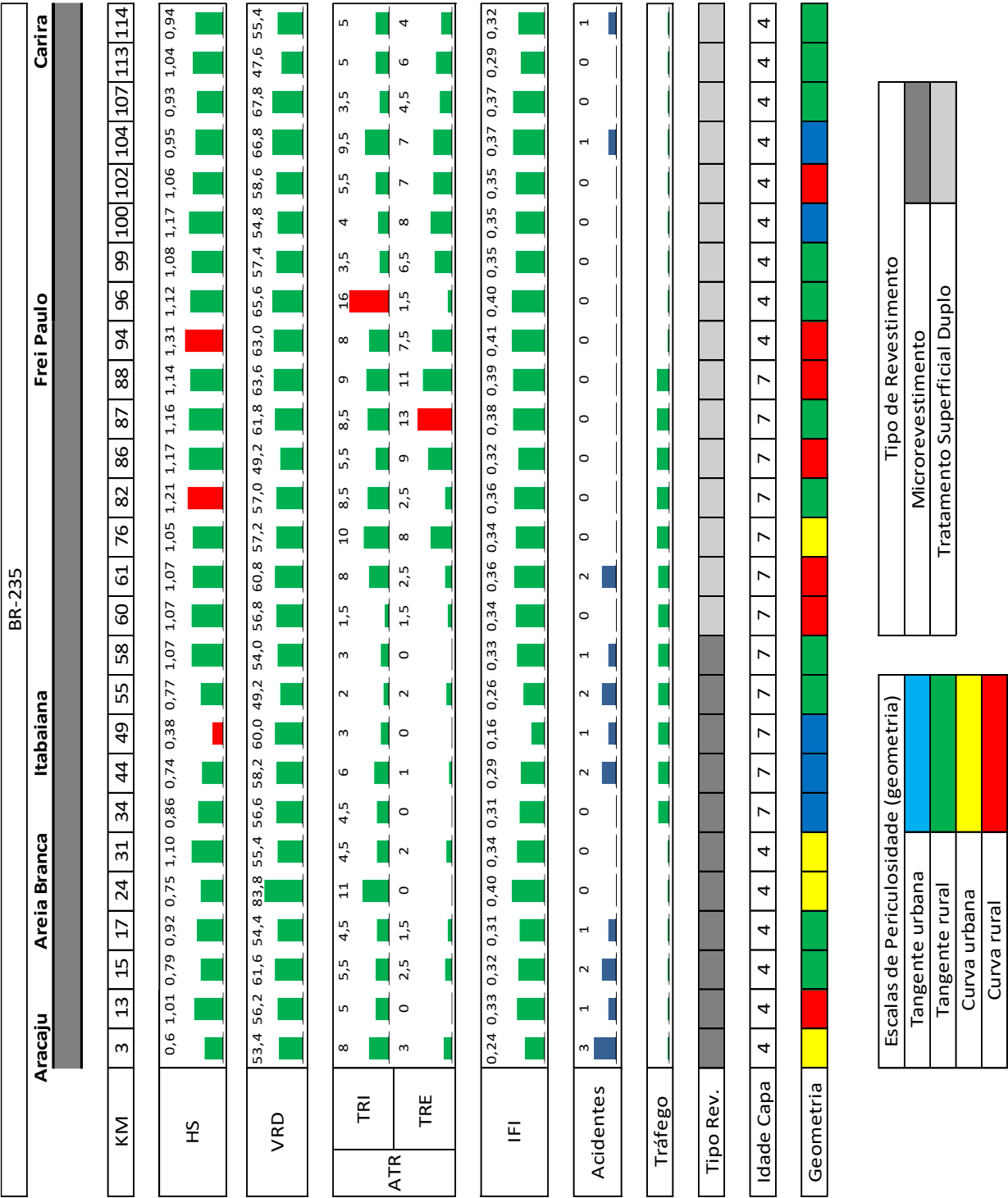
Nesta pesquisa, a qualidade do pavimento em relação à macrotextura está mais ligada ao tipo de mistura do que ao ano de intervenção. Observa-se que as características da textura de revestimentos com 7 anos de serviço não apresentaram grande diferença de textura para revestimentos com 4 anos de serviço.

Além disso, nota-se a presença de muitos acidentes em áreas com tráfego elevado como a capital Aracaju, que apresenta diariamente grandes movimentações de veículos e a cidade de Itabaiana que é uma das grandes cidades do Estado de Sergipe. Além do risco de acidentes ser aumentado pelo tráfego, este último também pode ocasionar o desgaste do pavimento.

Fazendo uma análise individual do segmentos estudados na BR-235, é possível observar que o km 3, possui o maior número de acidentes dessa rodovia, com um total de 3 acidentes. Nesse ponto, nota-se que com relação a textura somente a microtextura foi insatisfatória.

Porém, ao observar a geometria da via que está localizada o ponto, por se tratar de uma curva urbana e por ser localizada na Grande Aracaju, esse fato pode ter influenciado no registro de maior número de acidentes.

Figura 47: Gráfico unifilar da distribuição espacial das variáveis estudadas na BR-235



Fonte: Autora (2024).

Outro ponto que foi observado é o km 58, que possui uma macrotextura e microtextura satisfatória. O fato desse trecho ser uma tangente urbana, em frente a uma indústria de móveis, pode ter aumentado o risco e consequentemente o número de acidentes.

Para melhor entendimento dos níveis de relação linear, na sequência são

apresentados estudos de correlação linear de Pearson entre as variáveis de textura, deformação permanente, características da via e acidentes registrados, variáveis essas estudadas nesse trabalho.

#### 4.2.1. Correlações de Pearson

Foi feita uma análise estatística dos dados, buscando avaliar a correlação linear de Pearson entre eles, como mostra a Tabela 26 e 27. Essa correlação determina se dois conjuntos de dados possuem a mesma tendência, isto é, se os maiores valores de um conjunto são associados com os maiores valores do outro, correlação positiva, ou se os menores valores de um conjunto estão associados com os maiores do outro, correlação negativa. Embora seja possível estabelecer tendências, e as mesmas sejam úteis para a compreensão de possíveis relações entre variáveis, elas não estabelecem relações de causalidade (causa e efeito), tão pouco as ausências delas.

Tabela 26: Correlação entre as variáveis estudadas para a BR-101

|            | HS      | VRD     | IFI     | TRI     | TRE     | Acidentes | Geometria | Nacumulado | Idade   |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| HS         | 1       | -0,0359 | 0,9282  | 0,1265  | -0,0225 | -0,0183   | 0,2111    | 0,0657     | 0,3590  |
| VRD        | -0,0359 | 1       | 0,2277  | -0,2285 | -0,2003 | -0,0848   | -0,0538   | -0,1215    | -0,1914 |
| IFI        | 0,9282  | 0,2277  | 1       | 0,0479  | -0,0436 | -0,0145   | 0,1901    | 0,0684     | 0,3333  |
| TRI        | 0,1265  | -0,2285 | 0,0479  | 1       | 0,3812  | 0,0416    | 0,1055    | 0,0920     | 0,0872  |
| TRE        | -0,0225 | -0,2003 | -0,0436 | 0,3812  | 1       | -0,0958   | -0,2434   | -0,1048    | -0,0007 |
| Acidentes  | -0,0183 | -0,0848 | -0,0145 | 0,0416  | -0,0958 | 1         | 0,3085    | 0,2915     | 0,1317  |
| Geometria  | 0,2111  | -0,0538 | 0,1901  | 0,1055  | -0,2434 | 0,3085    | 1         | -0,0503    | -0,0110 |
| Nacumulado | 0,0657  | -0,1215 | 0,0644  | 0,0920  | -0,1048 | 0,2915    | -0,0503   | 1          | 0,8076  |
| Idade      | 0,3590  | -0,1914 | 0,3333  | 0,0872  | -0,0007 | 0,1317    | -0,0110   | 0,8076     | 1       |

Fonte: Autora (2024).

Observando a tabela 26, a maioria das variáveis não apresentaram fortes correlações entre si, não podendo dessa forma atribuir uma relação entre as variáveis.

É possível notar uma correlação muito forte entre o IFI e o HS. Observando a equação para cálculo do IFI (item 3.6), percebe-se que a medida de atrito depende tanto do HS como do VRD, porém valores muito deficientes de HS influenciam mais no cálculo, enquanto que valores elevados de HS fazem com que o IFI dependa mais dos valores de VRD.

De fato, a interação entre a macrotextura e microtextura é um fator determinante na grandeza do IFI, que representa o índice de atrito dependente dessas duas características texturais. Embora os valores de IFI sejam fortemente influenciados por baixos valores de HS, nessa pesquisa, a predominância de elevados

valores de resistência à derrapagem (VRD) acabaram compensando os valores de IFI. Certamente a microtextura deficiente acarretaria em uma má qualidade nos resultados de IFI, ou seja, no pior atrito na interface pneu-pavimento.

Pode-se observar também, uma correlação forte entre a idade do pavimento e o  $N_{\text{acumulado}}$  da via. Isso pode ter sido ocasionado devido ao  $N_{\text{acumulado}}$  ser uma variável que depende do tempo, ou seja, da idade do revestimento. Dessa forma, é natural que a idade e o  $N_{\text{acumulado}}$  tenham alta correlação, pois são variáveis interdependentes.

As demais variáveis não apresentaram correlação forte, com a geometria e o N (relacionado ao tempo e tráfego pesado) demonstrando uma correlação fraca com acidentes. Essa correlação pouco expressiva não significa que não haja relação entre a geometria e o N com o número de acidentes, mas que outros fatores podem ter influenciado na fraca correlação. Por exemplo, a interpolação de dados de tráfego, por não haver contagens para todos os segmentos, pode ter induzido a algum erro e reduzido a correlação com o número de acidentes.

Tabela 27: Correlação entre as variáveis estudadas para a BR-235

|                        | HS      | VRD     | IFI     | TRI     | TRE     | Acidentes | Geometria | $N_{\text{acumulado}}$ | Idade   |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|------------------------|---------|
| HS                     | 1       | -0,1081 | 0,7631  | 0,2175  | 0,5311  | -0,5981   | -0,3007   | -0,0009                | -0,0271 |
| VRD                    | -0,1081 | 1       | 0,5095  | 0,5166  | -0,0464 | -0,1960   | 0,2083    | -0,2165                | -0,2191 |
| IFI                    | 0,7631  | 0,5095  | 1       | 0,4996  | 0,3827  | -0,5316   | -0,1560   | -0,1884                | -0,2098 |
| TRI                    | 0,2175  | 0,5166  | 0,4996  | 1       | 0,2103  | -0,1160   | 0,1382    | -0,1012                | -0,1183 |
| TRE                    | 0,5311  | -0,0464 | 0,3827  | 0,2103  | 1       | -0,3876   | -0,1387   | 0,0522                 | 0,0195  |
| Acidentes              | -0,5981 | -0,1960 | -0,5316 | -0,1160 | -0,3876 | 1         | 0,0846    | 0,0219                 | 0,0382  |
| Geometria              | -0,3007 | 0,2083  | -0,1560 | 0,1382  | -0,1387 | 0,0846    | 1         | 0,0358                 | 0,0466  |
| $N_{\text{acumulado}}$ | -0,0009 | -0,2165 | -0,1884 | -0,1012 | 0,0522  | 0,0219    | 0,0358    | 1                      | 0,9988  |
| Idade                  | -0,0271 | -0,2191 | -0,2098 | -0,1183 | 0,0195  | 0,0382    | 0,0466    | 0,9988                 | 1       |

Fonte: Autora (2024).

Para a BR-101 (tabela 26) e para BR-235 (tabela 27), acidentes e deformações permanentes não apresentaram correlações consideráveis, ou seja, a causa dos acidentes provavelmente tem relação com outros tipos de fatores, especialmente levando-se em consideração as características das vias estudadas.

Especificamente para a BR-235, observou-se uma correlação moderada entre HS e ocorrência de acidentes ( $\sim 0,60$ ). Vale ressaltar que os locais em que aconteceu a maior quantidade de acidentes foi em trechos com microrevestimento, justamente onde o HS apresentou valores mais baixos, embora a grande maioria dentro do intervalo admissível pelo DNIT.

Observa-se também na BR-235 a correlação forte entre HS e IFI, e moderada

para VRD e IFI. Tanto para a BR-235, quanto para a BR-101, a correlação entre IFI e HS foi maior que com para IFI e VRD. Nota-se que de uma maneira geral, embora exista a forte correlação entre HS e IFI e salvo em alguns casos extremos onde a macrotextura está muito deficiente, o IFI acaba tendo uma classificação boa, por causa da compensação dos valores satisfatórios de VRD.

De fato, a interação entre HS e VRD no atrito pneu-pavimento é um fator de grande importância no momento da dosagem da camada superficial do pavimento, pois, a depender da disponibilidade, pode-se utilizar materiais com diferentes características resultantes de macro e microtextura para se obter um índice de atrito satisfatório para uso.

Observa-se também, que como na BR-101 a BR-235 apresentou uma correlação muito forte entre a idade do pavimento e o  $N_{\text{acumulado}}$  da via. Contudo, a idade e o  $N_{\text{acumulado}}$  tem alta correlação por serem variáveis interdependentes.

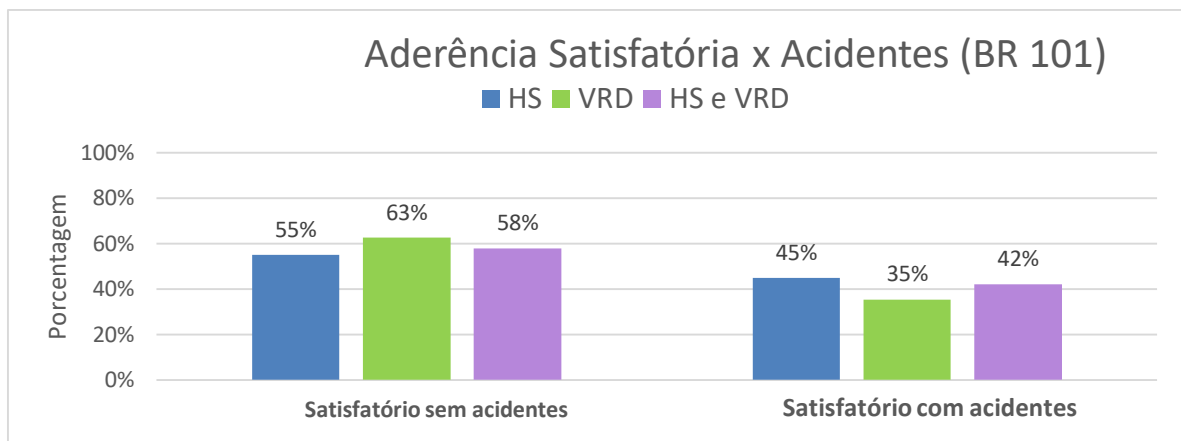
Nota-se uma baixa correlação entre o VRD e o número de acidentes em ambas as rodovias. A provável razão é que praticamente todos os valores de VRD estavam atendendo as especificações ( $\text{VRD} \geq 45$ ). Dessa forma, uma possível relação de causalidade com a incidência de acidentes não poderia ser detectada.

#### 4.2.2. Influência da Textura na Incidência de Acidentes

Para analisar a influência da textura na incidência de acidentes, esses últimos foram relacionados nos espectros de macrotextura e microtextura, de acordo com os gráficos das Figuras 48 e 49. Nesses gráficos são apresentadas as porcentagens de acidentes em condições satisfatórios e insatisfatórios de HS e VRD, além da associação de ambas as variáveis.

Na figura 48 é apresentada a porcentagem de segmentos analisados que registraram acidentes, mesmo com condições de macrotextura e microtextura satisfatórias. De acordo com o gráfico, percebe-se que a microtextura tem uma maior influência em evitar acidentes já que possui uma porcentagem maior de segmentos satisfatórios sem acidentes. Isso se deve ao fato da microtextura está relacionada à superfície do agregado e a sua capacidade de atrito entre o pneu e o pavimento, podendo evitar a derrapagem do veículo em superfície molhada.

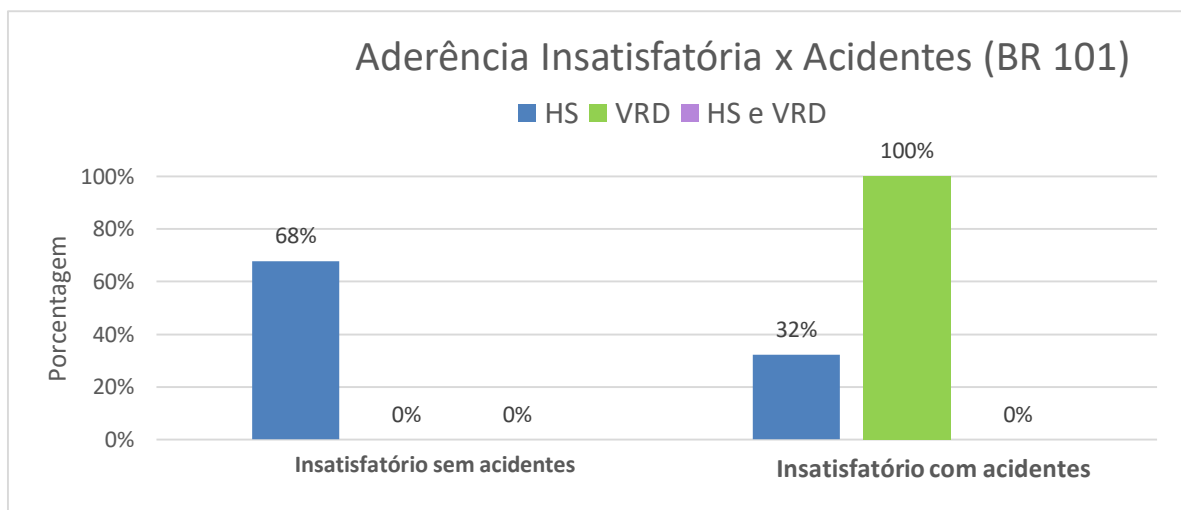
Figura 48: Relação de textura satisfatória com número de acidentes da BR-101



Fonte: Autora (2024).

Já a figura 49, o gráfico apresenta a porcentagem de segmentos analisados que registraram acidentes com condições de macrotextura e microtextura insatisfatórias. Percebe-se que a macrotextura mesmo sendo insatisfatória em alguns pontos, não influenciou no número de acidentes, já que a porcentagem de segmentos sem acidentes foi maior do que com acidentes. Isso não acontece com a microtextura que teve o único ponto insatisfatório com acidente. Isso implica dizer que na BR-101 a microtextura teve uma maior influência no número de acidentes.

Figura 49: Relação de textura insatisfatória com número de acidentes da BR-101



Fonte: Autora (2024).

Fazendo uma análise comparativa das Figuras 48 e 49, entre os segmentos satisfatórios e insatisfatórios especificamente da BR-101, é notório que trechos com textura dentro dos limites recomendados apresentaram menos acidentes do que trechos com índices insatisfatórios, com exceção para a macrotextura. Isso está relacionado ao fato de que a macrotextura não teve influência significativa no número

de acidentes, pois apresentou maior frequência de segmentos sem acidentes tanto em pontos com HS satisfatório como insatisfatório.

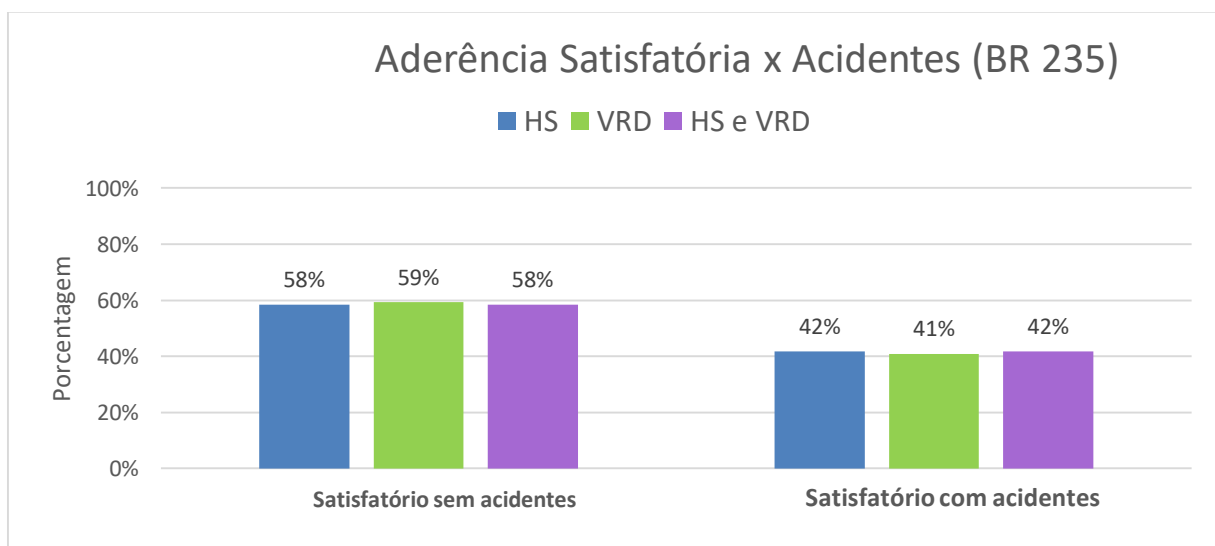
A relação da microtextura com o número de acidentes é notória na BR-101, o que mostra uma provável influência das propriedades minerológicas do agregado em evitar acidentes.

As Figuras 50 e 51 trazem os dados de textura relacionados aos registros de acidentes, agora aplicados à BR-235. Nesses gráficos estão apresentadas as porcentagens de acidentes para os segmentos que foram satisfatórios e insatisfatórios para textura do pavimento.

Na figura 50, apresenta-se a porcentagem de segmentos analisados que registraram acidentes mesmo com condições de macrotextura e microtextura satisfatórias. De acordo com esse gráfico, percebe-se que as variáveis HS e VRD isoladamente e em conjunto possuem porcentagens praticamente iguais, sendo maiores para textura satisfatória sem acidentes.

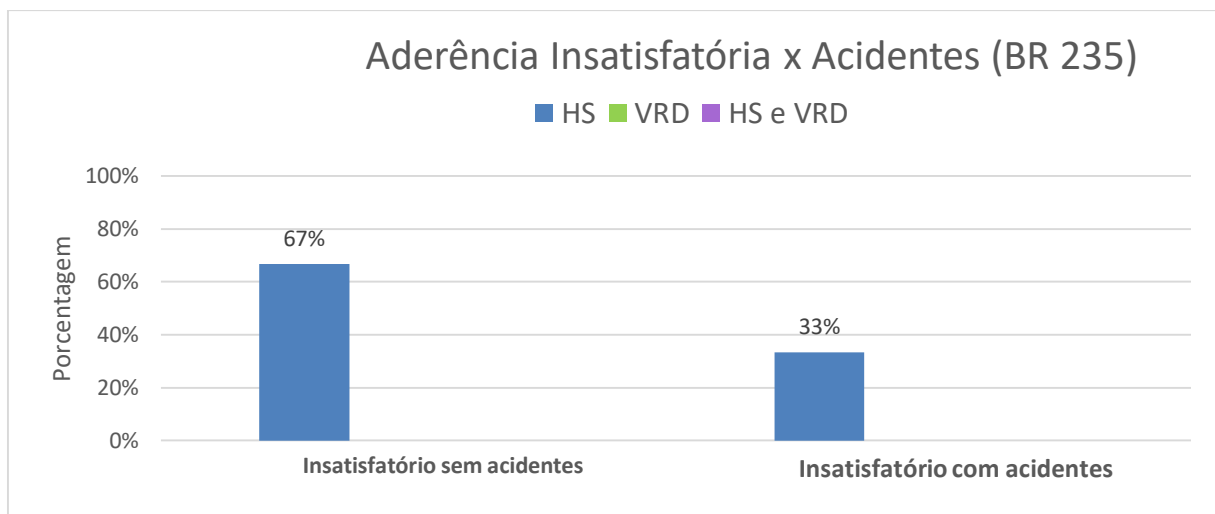
Como a BR-235 não apresentou dados insatisfatórios para microtextura, bem como simultaneamente para macrotextura e microtextura, esses dados não constam na figura 51.

Figura 50: Relação de textura satisfatória com número de acidentes da BR-235



Fonte: Autora (2024).

Figura 51: Relação de textura insatisfatória com número de acidentes da BR-235



Fonte: Autora (2024).

Quanto aos demais dados, o gráfico apresenta a porcentagem de segmentos analisados que registraram acidentes com condições de macrotextura insatisfatórias. Percebe-se que a macrotextura mesmo sendo insatisfatória não teve influência no número de acidentes.

Fazendo uma análise comparativa entre as Figuras 50 e 51, quanto aos segmentos satisfatório e insatisfatórios, não foi possível observar relação entre a macrotextura e incidência de acidentes, apesar da correlação moderada de HS com o número de acidentes (ver item 4.2.1). Isso pode ser explicado porque a correlação determina se conjuntos de dados possuem tendências proporcionais ou inversamente proporcionais de crescimento, mas não determinam, necessariamente, relações de causalidade. Entretanto, pôde-se observar nas análises gráficas se o HS poderia explicar as causas da ocorrência de acidentes, não encontrando-se indícios para isso.

Enquanto na BR-101 foi possível observar uma relação entre a microtextura e o número de acidentes, na BR-235 não foi possível fazer essa análise já que todos os pontos foram satisfatórios para microtextura. Essa falta de relação entre a textura e o número de acidentes, aliada as análises feitas ao longo do trabalho, evidencia que a textura não foi a característica que mais influenciou nos acidentes das rodovias estudadas, até mesmo porque não foi possível avaliar o comportamento dessas duas variáveis com valores de VRD abaixo do limite mínimo. Como observou-se, o tráfego foi o principal responsável, já que os acidentes estão mais concentrados em zonas urbanas como entradas e saídas de cidades.

#### 4.3. MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO

No presente trabalho também foram ajustados modelos para prever os dados de HS, VRD e IFI para as rodovias federais de Sergipe, com o intuito de auxiliar os órgãos como PRF e DNIT no planejamento de monitoramento e manutenção das vias.

O método utilizado foi a regressão fatorial e os dados foram organizados conforme a tabela 28. Alguns segmentos foram excluídos da Tabela antes de proceder a regressão fatorial, devido a alguns critérios. O primeiro critério foi o número N (relacionado ao tráfego anual), pois não foi possível obter dados em todos os segmentos estudados. Em princípio utilizou-se a interpolação em pontos próximos, mas os pontos distantes dos coletores de tráfego foram desconsiderados devido à incerteza. O segundo critério foi o ajuste do modelo, onde foram excluído dados considerados espúrios com provável erro experimental.

Para o N, tipo de revestimento e idade do pavimento foram atribuídas variáveis codificadas variando de -1 (referente ao menor valor do banco de dados utilizado) e +1 (referente ao maior valor). A coluna “N” refere-se à variável codificada para o número anual de repetições do eixo padrão de 8,2 tf ( $N_{\text{anual}}$ ) inicial, sendo utilizada a equação 10 para obtê-lo. Já na coluna de revestimento, atribuiu-se -1 para CAUQ, -0,5 para placa CCP, +0,5 para microrevestimento e +1 para TSD. E para a coluna da idade do pavimento, atribui-se -1 para 1 ano, -0,5 para 2 anos, 0 para 3 anos, +0,5 para 4 anos e +1 para 5 anos.

$$N = \frac{N_{\text{anual}} - 2,485 \times 10^6}{3,015 \times 10^6} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

N = Variável codificada referente ao  $N_{\text{anual}}$  (entre -1 e 1);

$N_{\text{anual}}$  = Número de repetições anual do eixo padrão de 8,2 tf para o segmento avaliado.

Tabela 28: Dados para regressão linear das BR-101 e BR-235

| BR  | PONTO | HS   | VRD   | IFI  | N <sub>anual</sub> | N     | REV. | Idade | I   |
|-----|-------|------|-------|------|--------------------|-------|------|-------|-----|
| 101 | 6     | 0,40 | 62,60 | 0,17 | 5,30E+05           | -1,00 | -1   | 1     | -1  |
|     | 11    | 0,42 | 61,60 | 0,18 | 5,34E+05           | -1,00 | -1   | 1     | -1  |
|     | 15    | 0,41 | 68,80 | 0,19 | 5,36E+05           | -1,00 | -1   | 1     | -1  |
|     | 17    | 0,34 | 69,20 | 0,14 | 5,38E+05           | -1,00 | -1   | 1     | -1  |
|     | 20    | 0,30 | 70,20 | 0,12 | 5,40E+05           | -1,00 | -1   | 1     | -1  |
|     | 23    | 0,48 | 63,80 | 0,22 | 5,42E+05           | -1,00 | -1   | 1     | -1  |
|     | 30    | 0,36 | 76,80 | 0,17 | 5,47E+05           | -0,99 | -1   | 1     | -1  |
|     | 34    | 0,48 | 63,80 | 0,21 | 5,49E+05           | -0,99 | -1   | 1     | -1  |
|     | 38    | 0,46 | 67,60 | 0,21 | 5,52E+05           | -0,99 | -1   | 1     | -1  |
|     | 43    | 0,42 | 56,00 | 0,17 | 2,40E+06           | -0,25 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 54    | 1,46 | 76,60 | 0,50 | 2,90E+06           | -0,05 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 64    | 1,23 | 45,80 | 0,30 | 3,70E+06           | 0,28  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 65    | 0,91 | 73,60 | 0,40 | 3,78E+06           | 0,31  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 66    | 0,91 | 59,20 | 0,33 | 3,86E+06           | 0,34  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 74    | 0,66 | 69,40 | 0,31 | 3,30E+06           | 0,12  | -0,5 | 3     | 0   |
|     | 75    | 0,53 | 75,60 | 0,27 | 3,36E+06           | 0,14  | -0,5 | 3     | 0   |
|     | 79    | 0,48 | 52,80 | 0,19 | 4,91E+06           | 0,76  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 82    | 0,41 | 56,00 | 0,16 | 5,15E+06           | 0,86  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 84    | 0,37 | 52,60 | 0,14 | 5,31E+06           | 0,92  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 88    | 0,41 | 71,60 | 0,19 | 5,50E+06           | 1,00  | 0,5  | 4     | 0,5 |
| 101 | 94    | 0,22 | 45,00 | 0,06 | 5,18E+06           | 0,87  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 101   | 0,33 | 71,00 | 0,14 | 4,82E+06           | 0,73  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 104   | 0,34 | 64,40 | 0,14 | 4,66E+06           | 0,66  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 114   | 0,69 | 61,20 | 0,29 | 4,13E+06           | 0,45  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 115   | 1,10 | 76,60 | 0,45 | 4,08E+06           | 0,43  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 116   | 0,67 | 66,20 | 0,30 | 4,03E+06           | 0,41  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 117   | 0,51 | 59,60 | 0,22 | 3,98E+06           | 0,39  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 121   | 0,63 | 62,80 | 0,27 | 3,77E+06           | 0,30  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 122   | 0,52 | 50,20 | 0,20 | 3,71E+06           | 0,28  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 125   | 0,45 | 63,60 | 0,20 | 3,56E+06           | 0,22  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 130   | 0,52 | 73,40 | 0,26 | 3,29E+06           | 0,11  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 132   | 0,38 | 66,80 | 0,17 | 3,19E+06           | 0,07  | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 144   | 0,33 | 66,00 | 0,13 | 2,56E+06           | -0,18 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 145   | 0,34 | 63,00 | 0,13 | 2,51E+06           | -0,20 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 152   | 0,71 | 47,80 | 0,24 | 2,47E+06           | -0,22 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 158   | 0,92 | 58,20 | 0,33 | 2,49E+06           | -0,21 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|     | 169   | 0,93 | 59,20 | 0,33 | 1,88E+06           | -0,46 | 0,5  | 3     | 0   |
|     | 175   | 1,01 | 54,40 | 0,32 | 1,89E+06           | -0,45 | 0,5  | 3     | 0   |
|     | 177   | 0,97 | 55,40 | 0,32 | 1,90E+06           | -0,45 | 0,5  | 3     | 0   |
|     | 180   | 0,77 | 55,80 | 0,29 | 1,90E+06           | -0,45 | 0,5  | 3     | 0   |
|     | 182   | 0,57 | 68,80 | 0,27 | 1,91E+06           | -0,44 | 0,5  | 3     | 0   |
|     | 185   | 0,67 | 42,00 | 0,21 | 1,92E+06           | -0,44 | 0,5  | 3     | 0   |
|     | 186   | 0,60 | 47,60 | 0,21 | 1,92E+06           | -0,44 | 0,5  | 3     | 0   |
|     | 188   | 0,69 | 62,40 | 0,29 | 1,93E+06           | -0,44 | 0,5  | 3     | 0   |

Continua na página seguinte

| BR          | PONTO | HS   | VRD   | IFI  | Nanual   | N     | REV. | Idade | I   |
|-------------|-------|------|-------|------|----------|-------|------|-------|-----|
| Continuação |       |      |       |      |          |       |      |       |     |
| 101         | 198   | 0,94 | 56,80 | 0,32 | 3,28E+06 | 0,11  | 0,5  | 5     | 1   |
|             | 201   | 1,02 | 69,00 | 0,40 | 3,29E+06 | 0,11  | 0,5  | 5     | 1   |
|             | 202   | 0,77 | 61,40 | 0,31 | 3,30E+06 | 0,11  | 0,5  | 5     | 1   |
|             | 204   | 0,84 | 64,80 | 0,34 | 3,30E+06 | 0,12  | 0,5  | 5     | 1   |
| 235         | 3     | 0,63 | 53,40 | 0,24 | 2,17E+06 | -0,34 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|             | 13    | 1,01 | 56,20 | 0,33 | 2,22E+06 | -0,32 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|             | 15    | 0,79 | 61,60 | 0,32 | 2,23E+06 | -0,32 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|             | 17    | 0,92 | 54,40 | 0,31 | 2,24E+06 | -0,31 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|             | 24    | 0,75 | 83,80 | 0,40 | 2,27E+06 | -0,30 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|             | 31    | 1,10 | 55,40 | 0,34 | 2,30E+06 | -0,29 | 0,5  | 4     | 0,5 |
|             | 94    | 1,31 | 63,00 | 0,41 | 2,60E+06 | -0,17 | 1    | 4     | 0,5 |
|             | 96    | 1,12 | 65,60 | 0,40 | 2,61E+06 | -0,16 | 1    | 4     | 0,5 |
|             | 99    | 1,08 | 57,40 | 0,35 | 2,62E+06 | -0,16 | 1    | 4     | 0,5 |
|             | 100   | 1,17 | 54,80 | 0,35 | 2,62E+06 | -0,16 | 1    | 4     | 0,5 |
|             | 102   | 1,06 | 58,60 | 0,35 | 2,63E+06 | -0,15 | 1    | 4     | 0,5 |
|             | 104   | 0,95 | 66,80 | 0,37 | 2,64E+06 | -0,15 | 1    | 4     | 0,5 |
|             | 107   | 0,93 | 67,80 | 0,37 | 2,66E+06 | -0,14 | 1    | 4     | 0,5 |
|             | 113   | 1,04 | 47,60 | 0,29 | 2,69E+06 | -0,13 | 1    | 4     | 0,5 |
|             | 114   | 0,94 | 55,40 | 0,32 | 2,69E+06 | -0,13 | 1    | 4     | 0,5 |

Fonte: Autora (2024).

Para os dados de microtextura, associados ao VRD, não foi possível ajustar um modelo confiável ou que atendesse aos requisitos estabelecidos nesse trabalho ( $R^2$  maior que 0,85 e probabilidade de erro dos coeficientes menor que 5%). Isso não quer dizer que não haja relação entre VRD e as características estudadas para a via, mas o universo amostral utilizado nessa pesquisa ou as variáveis tempo, tráfego e tipo de revestimento não foram capazes de descrever a evolução dessa variável, até mesmo porque a amostragem utilizada não dispunha de valores abaixo de 45 (mínimo aceitável pelo DNIT) em quantidade suficiente para que o método de otimização por mínimos quadrados estabelecesse uma relação confiável na modelagem.

Para os dados de macrotextura, associados ao HS, foi possível ajustar o modelo estatístico de regressão fatorial da equação 11.

$$HS = B0 + B1 * N + B3 * I + B4 * N * REV + B5 * N * I + B7 * N * REV * I \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

HS = Altura de mancha de areia do pavimento;

B0 a B7 = Constantes determinadas pelo modelo;

N = Variável codificada referente ao  $N_{\text{anual}}$ ;

I = Variável codificada referente à idade de capa do pavimento;

REV = Variável codificada referente ao tipo de revestimento do pavimento.

O modelo de regressão do HS foi ajustado para um nível de confiança de 95%, portanto, com nível de significância de 5%. A tabela 29 trás as estimativas para cada constante, o erro padrão associado e os valores T e P. Os dois últimos são testes estatísticos que servem para validar a eficácia do modelo. O R<sup>2</sup> encontrado foi de 0,89, apresentando um bom grau de ajustamento para modelo de HS, o que gera boa repetibilidade ao mesmo. As constantes B2 (para tipo de revestimento) e B6 (para interação entre tipo de revestimento e idade) foram excluídas do modelo por não apresentarem significância menor que 5%, podendo resultar em aumento nos erros de estimativa.

Tabela 29: Dados do modelo de previsão de desempenho do HS

| Constantes | Estimativa | Erro Padrão | Teste T | Valor P |
|------------|------------|-------------|---------|---------|
| <b>B0</b>  | 0,462      | 0,061       | 7,601   | 0,000   |
| <b>B1</b>  | 0,584      | 0,204       | 2,866   | 0,006   |
| <b>B3</b>  | 0,497      | 0,091       | 5,445   | 0,000   |
| <b>B4</b>  | -2,565     | 0,519       | -4,944  | 0,000   |
| <b>B5</b>  | 1,588      | 0,447       | 3,550   | 0,001   |
| <b>B7</b>  | -2,002     | 0,402       | -4,982  | 0,000   |

Fonte: Autora (2024).

Para os dados de IFI, também ajustou-se um modelo, o qual está apresentado na equação 11, com bom ajuste linear, igualmente ao HS.

$$IFI = B0 + B1 * N + B3 * I + B4 * N * REV + B5 * N * I + B7 * N * REV * I \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

IFI = *international friction index*;

B0 a B7 = constantes determinadas pelo modelo;

N = Variável codificada referente ao N<sub>anual</sub>;

I = Variável codificada referente à idade de capa do pavimento;

REV = Variável codificada referente ao tipo de revestimento do pavimento.

O modelo de regressão do IFI também foi ajustado com nível de confiança de 95% (nível de significância de 5%). A tabela 30 trás as estimativas para cada constante, o erro padrão associado e os valores de T e P. O R<sup>2</sup> encontrado para o

modelo de IFI foi de 0,86, também um valor alto, mostrando-se dessa forma o alto grau de ajustamento do modelo, o que gera também uma boa repetibilidade. As constantes B2 e B6, da mesma forma que para o modelo de HS, foram excluídas do modelo por não apresentarem significância menor que 5%. Isso pode ser um indicativo de pequena influência do tipo de revestimento na determinação dos valores de HS e IFI.

Tabela 30: Dados do modelo de previsão de desempenho do IFI

| Constantes | Estimativa | Erro Padrão | Teste T | Valor P |
|------------|------------|-------------|---------|---------|
| <b>B0</b>  | 0,213      | 0,020       | 10,560  | 0,000   |
| <b>B1</b>  | 0,144      | 0,068       | 2,110   | 0,040   |
| <b>B3</b>  | 0,132      | 0,030       | 4,314   | 0,001   |
| <b>B4</b>  | -0,600     | 0,173       | -3,468  | 0,000   |
| <b>B5</b>  | 0,324      | 0,149       | 2,172   | 0,035   |
| <b>B7</b>  | -0,516     | 0,134       | -3,844  | 0,000   |

Fonte: Autora (2024).

É importante salientar que os modelos de previsão de HS e IFI aqui ajustados, são apropriados para a previsão de desempenho, tanto para auxílio nas atividades de projeto, quanto de monitoramento e manutenção das vias. Apesar da grande importância atribuída à avaliação estrutural e ao conforto ao rolamento, a avaliação de segurança na interface pneu-pavimento é de suma importância na prevenção e atenuação de acidentes. Sendo assim, a antecipação de ações baseadas em estimativas de HS e IFI pode ser uma alternativa viável para os gerenciadores de pavimentos viários.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este estudo objetivou analisar as condições de superfície dos pavimentos em duas rodovias federais no estado de Sergipe, com foco na aderência entre o pneu pavimento, dada a significativa incidência global de acidentes de trânsito como causadores de mortes. A pesquisa investigou especificamente as características da superfície do pavimento que exercem influência direta na segurança viária, com o intuito de fornecer análises relevantes para mitigar os riscos associados a esses eventos.

Para tanto, foi feita uma avaliação e classificação da textura superficial e atrito nos trechos da BR-101 e BR-235, de acordo com os limites estabelecidos pelo DNIT (2006). Observou-se que 60% dos segmentos da BR-101 e 19% da BR-235 necessitariam de algum tipo de intervenção para recobrir alguma das características texturais.

Analizando a macrotextura individualmente percebe-se que 58% foi insatisfatório para a BR-101 e 11% para a BR-235. Observa-se que revestimentos em CAUQ possuíam valores baixos de HS, possivelmente devido a própria execução desses pavimentos, pois é uma camada que muitas vezes se atenta mais às propriedades estruturais do que à textura superficial. Observou-se a possível influência do tipo de compactação no acabamento de superfície, o que induz numa textura fechada, especialmente para misturas com granulometria na faixa granulométrica “C” do DNIT.

Notou-se também que muitos segmentos com problemas relacionados ao HS eram em microrevestimento. A degradação desse tipo de revestimento está muito relacionada à sua idade, pois mantém condições ideais de desempenho durante 2 a 3 anos. Muitos segmentos com microrevestimento apresentavam idade superior a 3 anos e sujeitos a tráfego intenso, sofrendo considerável desgaste.

Com relação aos segmentos revestidos em TSD, observou-se que não apresentaram grandes problemas com a textura, exceto valores excessivos de HS em poucos pontos, o que é uma situação menos crítica que quando o registro é de valores baixos. Vale ressaltar que o TSD tem como vantagem proporcionar uma camada de rolamento de pequena espessura, porém de alto atrito e resistência ao desgaste. Especialmente sobre o atrito de superfície, o ligante asfáltico tem baixa influência na textura dessa camada, devido à textura ser dependente basicamente da rugosidade

dos agregados utilizados e do arranjo dos mesmos na superfície.

Com relação a microtextura, ambas as rodovias apresentaram resultados considerados satisfatórios. Esses resultados dão indícios que há disponibilidade de bons agregados para a construção rodoviária no estado de Sergipe, sobretudo do ponto de vista do baixo desgaste ao tráfego, sofrendo baixo polimento ao longo do tempo.

Da mesma forma, observou-se que a BR-235 apresentou melhores condições de Índice de Atrito (IFI) que a BR-101, já que todos os segmentos apresentaram classificações consideradas boas. Em contrapartida, 17% dos segmentos da BR-101 encontravam-se em condições consideradas perigosas. Contudo, os valores inferidos para o Índice de Atrito (IFI) nas duas rodovias estudadas podem ser considerados aceitáveis.

Percebe-se também que a macrotextura e microtextura interagem de formas distintas na determinação do IFI, sendo que valores mais baixos de HS têm maior influência na inferência do IFI que o VRD, enquanto que valores altos de HS tendem a influenciar menos que o VRD na inferência do IFI, especialmente para os dados desse trabalho. Dessa forma, a análise conjunta dos dados é crucial, evitando-se medidas de HS ou VRD aquém dos limiares requeridos, mas com IFI satisfatório.

As características de textura do revestimento e atrito pneu-pavimento apresentaram pouca relação com a incidência de acidentes nas rodovias estudadas. Provavelmente, os elevados valores registrados de VRD na grande maioria dos segmentos tenham controlado o atrito pneu-pavimento e compensado as deficiências do HS. Por outro lado, percebeu-se que a incidência de acidentes coincidiu fortemente com a travessia de áreas urbanas. O alto volume de tráfego associado às questões comportamentais dos usuários (alta velocidade, desatenção, ultrapassagem proibida etc.) nessas localidades, provavelmente, foi a característica que mais influenciou no número de acidentes.

Devido ao baixo registro de valores críticos de VRD e ATR nos segmentos estudados não foi possível estabelecer relações com a incidência de acidentes, embora elas possam existir em situações distintas às avaliadas. Esses resultados ressaltam que essas características, que atenderam aos limites recomendados, são os pontos fortes das rodovias federais de Sergipe no ponto de vista de análise de aderência.

Por fim, foram estudados modelos de regressão linear para a macrotextura,

microtextura e índice de atrito. Os modelos de previsão de desempenho que atenderam aos requisitos estatísticos estabelecidos nessa dissertação foram os de HS e IFI, sendo eles capazes de estimar essas variáveis ao longo do tempo, projetando dessa forma a deterioração temporal da textura do pavimento, e auxiliando os tomadores de decisão no planejamento de intervenções. Vale ressaltar que os modelos de HS e IFI foram ajustados para as características de materiais e experiências construtivas do estado de Sergipe. A utilização para outros cenários requer validações.

### 5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando um aprofundamento das análises realizadas na presente pesquisa, são feitas, sugestões para trabalhos futuros, como forma de aprofundar o tema aqui estudado. Sugere-se:

- O estudo e avaliação da macrotextura e microtextura do pavimento em locais de incidência de acidentes de trânsito que tenham como possível causa falha na textura do pavimento;
- Propor modelos probabilísticos para acidentes de acordo com as características de textura do pavimento (HS e VRD), servindo para as atividades de controle da qualidade e operação de vias;
- Investigar a influência da granulometria utilizada em cada tipo de revestimento nas medidas de textura de superfície e atrito pneu-pavimento;
- Analisar a correlação do número de acidentes com os dados de geometria da via;
- Avaliar a influência de diferentes combinações de testes para medição de microtextura, macrotextura e atrito na inferência do *International Friction Index* (IFI).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APS, M. **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos**. 2006. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ALBUQUERQUE, F.S. **Sistema de Gerência de Pavimento para Departamentos de Estradas do Nordeste Brasileiro**. 2007. 303 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2007.

AQUINO, T. S. A.; OLIVEIRA, F. H. L.; ALBUQUERQUE, V. A. M.; PONTE, C. **Metodologia para Determinação de Macrotextura de Pavimento Através de Fotogrametria de Curta Distância**. In: 24° (ENACOR) e 47° (RAPv). Rio Grande do Sul, 2022.

ASTM-E-965. **Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique**. Annual Book of ASTM Standards American Society for Testing and Materials, vol. 04.03, USA, 2019.

ASTM-E-1845. **Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth**. Annual Book of ASTM Standards American Society for Testing and Materials, vol. 04.03, US, 2016.

ASTM-E-2157. **Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Properties Using the Circular Track Meter**. Annual Book of ASTM Standards American Society for Testing and Materials, vol. 04.03, US, 2019.

ASTM-E-2380. **Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow Meter**. Annual Book of ASTM Standards American Society for Testing and Materials, vol. 04.03, US, 2019.

ASTM-E-303. **Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester**. Annual Book of ASTM Standards American Society for Testing and Materials, vol. 04.03, US, 2022.

ASTM-E-1911. **Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester**. Annual Book of ASTM Standards American Society for Testing and Materials, vol. 04.03, US, 2019.

ASTM-E-670. **Standard Test Method for Testing Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter**. Annual Book of ASTM Standards American Society for Testing and Materials, vol. 04.03, US, 2020.

ASTM-E-1960. **Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface**. Annual Book of ASTM Standards American Society for Testing and Materials, vol. 04.03, US, 2023.

ASTM-E-1703. **Standard Test Method for Measuring Rut-Depth of Pavement Surfaces Using a Straightedge**. Annual Book of ASTM Standards American Society for Testing and Materials, vol. 04.03, US, 2015.

BARELLA, R. M. **Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais**. 2008. 362 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L.M.G. da; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica- Formação Básica para Engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS & ABEDA, 2022.

BUCHARLES, L. G. E. **Critérios para avaliação pericial da macro e microtextura de pavimento asfáltico em local de acidente de trânsito**. 2014. 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CARVALHO, F. S. **Análise da textura superficial de pavimentos asfálticos e sua influência na ocorrência de acidentes de tráfego rodoviário em condição de pista molhada.** 2019. 141 f. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

CNT. **Confederação Nacional de Transporte.** Brasília. Disponível em: <[www.cnt.gov.br](http://www.cnt.gov.br)>. Acesso em: 20 de agosto de 2022.

COUCHINHO, R. P. S. **Medição do coeficiente de atrito da superfície de pavimentos: Estudo do equipamento GripTester.** 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2011.

DETRAN. **Departamento Estadual de Trânsito de Sergipe.** Disponível em: <<https://www.detran.se.gov.br/?pg=estatistica/acidentes#gsc.tab=0>>. Acesso em: 02 de março de 2023.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT-006-PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e sem-rígidos – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT-005-TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia.** Rio de Janeiro, 2003.

DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Restauração de pavimentos asfálticos** - 2. ed. - Rio de Janeiro, 2006.

FARIAS, R.R.C. **Estudos de Aderência Pneu-Pavimento em Revestimentos Asfálticos: Análise de efetividade “antes e depois” para redução de acidentes pelo metodo Highway Safety Manual (HSM).** 2022. 162 f. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

FERREIRA, P. N. **Avaliação da macrotextura de trechos pavimentados de rodovias estaduais situadas na região insular do município de Florianópolis.** 2002. 182 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FERREIRA, R. T. L.; GUERRA, K. B. F.; MOURA, C. A. M. M. **Avaliação da drenabilidade de pavimento asfálticos em Barra do Garças, Mato Grosso, Brasil.** Revista de Engenharia Civil, IMED, vol. 7, n. 1, o. 150-163, 2020. DOI: 10.18256/2358-6508.2020.v7i1.3555.

FRITSCH, A. L. A.; CUBAR, A. S.; DELAVY, F. S.; NUNES, G. H.; ALMEIDA, J. P. B.; RIVA, R. D. D. **Análise temporal da microtextura em pavimentos urbanos em revestimento TSD com capa selante no município de SINOP/MT.** Revista UNINGÁ Review, Maringá, v.33, n.2, p. 134-150, abr/jun, 2018. ISSN 2178-2571.

FUENTES, L. G.; GUNARATNE, M.; de LEÓN IZEPPI, E.; FLINTSCH, G. W.; MARTINEZ, G. **Determination of Pavement Macrotexture Limit for Use in International Friction Index Model.** In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2306, p. 138-143, 2012.

GDDKiA. **“Análise sobre pavimentos voláteis, propriedades do desgaste no período inicial de serviço”.** Relatório sobre o trabalho de implementação TD-88. Instituto de Investigação de Estradas e Pontes, Varsóvia, Polónia, 2009.

GONÇALVES, A. K. L. **Avaliação da drenagem superficial em pista de pouso e decolagem por meio de processamento digital de imagens.** 2020. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

GURGEL, J. P. V. **Avaliação de macrotextura e microtextura em pavimentos asfálticos – Estudo de caso.** 2019. 62 f. Monografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

HANSON, D. I.; PROWELL, B. D. **Evaluation of circular texture meter for measuring surface texture of pavements**. National Center for Asphalt Technology, NCAT, 2004.

LIN, C.; TONGJING, W. **Effect of fine aggregate angularity on skid-resistance of asphalt pavement using accelerated pavement testing**. Science Direct, Construction and Building Materials, v.168, p. 41-46, April, 2018.

LU, Q.; STEVEN, B. **Friction testing of pavement preservation treatments literature review**. Pavement Research Center. University of California, 2008.

MATTOS, J. R. G. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS**. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Rio Grande do Sul, 2009.

MATTOS, J. R. G. **Monitoramento e análise de desempenho de pavimentos flexíveis da ampliação da rodovia BR-290/RS – A implantação do projeto rede temática de asfalto no Rio Grande do Sul**. 2014. 250 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2014.

MENDONÇA, A. T. **Avaliação parcial de trechos monitorados na rodovia BR-101/SE**. 2014. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.

NIPPO, Nippo Sangyo Co., Ltd (2011) – **“Product Guide – Dynamic Friction Tester”**. Tokyo, Japan.

NOYCE, A. D.; BAHIA, H. U.; YAMBÓ, J. M.; KIM, G. **Incorporating road safety into pavement management: maximizing asphalt pavement surface friction for road safety improvements – Draft Literature Review and State Surveys**. Midwest Regional University Transportation Center, Traffic Operations and Safety (TOPS) Laboratory. Wisconsin, United States of America, 2005, 136p.

PEREIRA, C. A. **Análise da Aderência Pneu-Pavimento em Rodovias do Estado de Pernambuco e da Paraíba com Elevado Índice de Acidentes**. 2010. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária: Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: s.n., 2002.

RODRIGUES, F. O. S. **Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários - Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SANTIAGO, L. S.; SOARES, J. B.; BARROSO, S. H. A.; PEREIRA, S. L. O. P.; OLIVEIRA, J. A. **Análise de dados de microtextura e macrotextura a partir do acompanhamento de trechos experimentais no estado do Ceará**. In: XXVII ANPET – Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013, Belém – PA. XXVII ANPET – Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013.

SANTOS, A. S. **Segmentos monitorados de Araranguá: construção e previsão de desempenho do revestimento em camadas singulares e integradas**. 2008. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SANTOS, E.L. (2004) – **“Análise Histórica de Medição do Atrito da Pista do Aeroporto Santos Dumont - RJ”**. Centro Técnico Aeroespacial, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, Rio de Janeiro, Brasil.

SEVERO, L. E. P.; RUWER, P.; KLEIN, R. J., BARELLA, R. M., MASSARA, S.; GONÇALVES, F. P. **Utilização de perfilômetro laser para a medida de irregularidade longitudinal e do afundamento em trilho de roda**. Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Natal, 2004.

SILVA, J. P. S. **Aderência pneu-pavimento em revestimentos asfálticos aeroportuários**. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SOUSA, J. M. P. **Estudo do desempenho de um protótipo de medição de atrito em pavimentos rodoviários**. 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Minho, Portugal, 2021.

SPECHT, L. P.; ROZEK, T.; HIRSCH, F.; REGINALDO, T. S. **Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.10, p.30-38, 2007.

TRB – TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Simple Performance Test for Superpave Mix Design**. NCHRP Report 465, 2002.

TYROSAFE – “**D04 - Report on state-of-the-art of test methods**”. Tyre and Road Surface Optimisation for Skid Resistance and Further Effects, Theme 7: Transport, TYROSAFE, Vienna, Austria, 2008.

WAMBOLD, J. C.; HENRY, J. J.; **NASA Wallops Tie/Runway Friction: Workshops 1993-2002**. Montreal: TDC, 2002. 155p.

WAMBOLD, J. C.; ANTLE, C. E.; HENRY, J. J.; RADO, Z. **International PIARC Experience to Compare and Harmonize Textura and Skid Resistance Measurements**. Paris: PIARC, 1995. 423p.