UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DA MACROTEXTURA E DA MICROTEXTURA DE RODOVIAS DO SISTEMA RODOVIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL

GABRIELA RODRIGUES CONTREIRA

ORIENTADOR: FÁBIO ZANCHETTA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM TRANSPORTES

BRASÍLIA / DF: FEVEREIRO / 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DA MACROTEXTURA E DA MICROTEXTURA DE RODOVIAS DO SISTEMA RODOVIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL

GABRIELA RODRIGUES CONTREIRA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA VISTO O REQUISITO NECESSÁRIO PARA GRADUAÇÃO DE BACHAREL NO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

_____

FÁBIO ZANCHETTA, Doutor, UnB
(ORIENTADOR)

_____

Rafael Cerqueira Silva, Doutor, UnB
(EXAMINADOR INTERNO)

_____

Gisandra Faria de Paula, Mestre, DER-DF
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 09 de FEVEREIRO de 2023.

FICHA CATALOGRÁFICA

GABRIELA RODRIGUES CONTREIRA
ANÁLISE DA MACROTEXTURA E DA MICROTEXTURA DE RODOVIAS DO SISTEMA RODOVIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL
[Distrito Federal] 2023.
xvi, 91 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 1990)
Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
1. Macrotextura 2. Microtextura
3. Análise de Segurança 4. Sistema de Gerência de Pavimentos
I. ENC/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CONTREIRA, G. R. (2023). ANÁLISE DA MACROTEXTURA E DA MICROTEXTURA DE RODOVIAS DO SISTEMA RODOVIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL.
Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 91 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Gabriela Rodrigues Contreira
TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: ANÁLISE DA MACROTEXTURA E DA MICROTEXTURA DE RODOVIAS DO SISTEMA RODOVIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL

À universidade de Brasília é permitida a cópia e divulgação dessa monografia de Projeto Final para fins acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

_____

Gabriela Rodrigues Contreira
Avenida Central Bloco 1165, casa 3, Núcleo Bandeirante.
71710-026 – Brasília/DF - Brasil

À minha família, o eterno agradecimento pelo suporte.

“A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces.”.

ANÁLISE DA MACROTEXTURA E DA MICROTEXTURA DE RODOVIAS DO SISTEMA RODOVIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL

RESUMO

A aderência pneu-pavimento é um dos parâmetros mais importantes da segurança viária e deve ser avaliada em duas escalas: microtextura e macrotextura. As medidas de textura da superfície de pavimentos podem ser obtidas por diversos equipamentos, sendo que os mais difundidos são o Pêndulo Britânico e a Mancha de Areia. Dessa forma, esta pesquisa pretende utilizar esses dois equipamentos para verificar o comportamento da textura em função da idade do pavimento para diferentes tipos de revestimentos. Para tanto, foram realizados levantamentos dos valores de micro e macrotextura em pavimentos da malha rodoviária do Distrito Federal. E, além dos dados coletados e tratados para estimativa da textura, apresenta-se, nesta pesquisa, a relação entre os resultados dos ensaios de Mancha de Areia e do Pêndulo Britânico com o índice IFI, um índice representativo da combinação entre a macro e microtextura do pavimento, importante para a valoração e tomada de decisões na área de Sistema de Gerência de Pavimentos.

Palavras-chave: Sistema de Gerência de Pavimentos; Macrotextura; Microtextura; Análise de Segurança; Mancha de Areia; Pêndulo Britânico.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 16
1.1. OBJETIVOS 19
1.1.1. Objetivo Geral 19
1.1.2. Objetivos Específicos 19
1.2. JUSTIFICATIVA 19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 23
2.1. TIPOS DE REVESTIMENTOS DE PAVIMENTAÇÃO 23
2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS DO DISTRITO FEDERAL 26
2.3. ATRITO 27
2.4. MACROTEXTURA 28
2.4.1. Ensaio de mancha de areia 30
2.5. MICROTEXTURA 34
2.5.1. Ensaio de pêndulo britânico 35
2.6. TIPOS DE SUPERFÍCIES 37
2.7. *INTERNACIONAL FRICTION INDEX* (IFI) 38
3. MATERIAIS E MÉTODOS 41
3.1. MATERIAIS 41
3.1.1. Dados 43
3.2. MÉTODOS 43
3.2.1. Critério para escolha das rodovias 44
3.2.2. Etapas para aquisição e tratamento dos dados do ensaio Mancha de Areia 50
3.2.3. Etapas para aquisição e tratamento dos dados do ensaio Pêndulo Britânico 51
4. RESULTADOS 52
4.1. RESULTADOS DA DF-001 52

4.1.1. Avaliação da Macrotextura da DF-001 52
4.1.2. Avaliação da Microtextura da DF-001 54
4.1.3. Cálculo do IFI para a DF-001 56
4.1.4. Possíveis intervenções na DF-001 57
4.2. RESULTADOS DA DF-430 58
4.2.1. Avaliação da Macrotextura da DF-430 58
4.2.2. Avaliação da Microtextura da DF-430 60
4.2.3. Cálculo do IFI para a DF-430 62
4.2.4. Possíveis intervenções na DF-430 62
4.3. RESULTADOS DA DF-002 63
4.3.1. Avaliação da Macrotextura da DF-002 64
4.3.2. Avaliação da Microtextura da DF-002 65
4.3.3. Cálculo do IFI para a DF-002 66
4.3.4. Possíveis intervenções na DF-002 67
4.4. RESULTADOS DA DF-047 PARA PAVIMENTO RÍGIDO 68
4.4.1. Avaliação da Macrotextura da DF-047 68
4.4.2. Avaliação da Microtextura da DF-047 70
4.4.3. Cálculo do IFI para a DF-047 71
4.4.4. Possíveis intervenções na DF-047 72
4.5. RESULTADOS DA DF-003 72
4.5.1. Avaliação da Macrotextura da DF-003 73
4.5.2. Avaliação da Microtextura da DF-003 74
4.5.3. Cálculo do IFI para a DF-003 76
4.5.4. Possíveis intervenções na DF-003 76
4.6. RESULTADOS DA DF-047 PARA PAVIMENTO COM MICRORREVESTIMENTO 77

4.6.1. Avaliação da Macrotextura da DF-047 78
4.6.2. Avaliação da Microtextura da DF-047 79
4.6.3. Cálculo do IFI para a DF-047 80
4.6.4. Possíveis intervenções na DF-047 81
4.7. ANÁLISE COMPARATIVA DE PAVIMENTOS COM IDADES DIFERENTES 82
4.7.1. Concreto Asfáltico 82
4.7.2. Microrrevestimento 84
4.7.3. Pavimento Rígido 86
5. CONCLUSÕES E RESULTADOS 87
5.1. CONCLUSÕES 87
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 90

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:MALHA RODOVIÁRIA BRASILEIRA....17
FIGURA 2: ACIDENTES RODOVIÁRIOS NO DISTRITO FEDERAL 20
FIGURA 3:ACIDENTES POR CLASSIFICAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL....20
FIGURA 4: FERIDOS POR ACIDENTES RODOVIÁRIOS NO DISTRITO FEDERAL 21
FIGURA 5: MORTES EM ACIDENTES RODOVIÁRIOS NO DISTRITO FEDERAL 21
FIGURA 6: DISTRIBUIÇÃO DE ACIDENTES POR CAUSA....22
FIGURA 7: EXEMPLOS DE CORPOS-DE-PROVA DE MISTURAS ASFÁLTICAS.....24
FIGURA 8: CURVA GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS....25
FIGURA 9: MAPA GEOLÓGICO DO DISTRITO FEDERAL 27
FIGURA 10: REPRESENTAÇÃO DA FORÇA DE ATRITO EM OPOSIÇÃO AO MOVIMENTO DE UM CORPO....28
FIGURA 11: REALIZAÇÃO DO ENSAIO MANCHA DE AREIA....31
FIGURA 12: PROCEDIMENTO PARA EXECUÇÃO DO ENSAIO DE MANCHA DE AREIA....32
FIGURA 13: MODELO DE REPRESENTAÇÃO DE DADOS DE MANCHA DE AREIA 33
FIGURA 14: TIPOS DE MICROTEXTURA....34
FIGURA 15: EXEMPLO DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO 36
FIGURA 16:MODELO DE PLANILHA DO ENSAIO DE PÊNDULO BRITÂNICO 37
FIGURA 17: TIPOS DE SUPERFÍCIES POSSÍVEIS EM FUNÇÃO DA MICROTEXTURA E DA MACROTEXTURA....38
FIGURA 18: CONJUNTO DE EQUIPAMENTOS DE MANCHA DE AREIA UTILIZADOS 42
FIGURA 19: EQUIPAMENTO DE PÊNDULO BRITÂNICO UTILIZADO....43
FIGURA 20: CURVA DE DEGRADAÇÃO DO PAVIMENTO 44
FIGURA 21: RODOVIAS ENSAIADAS....46
FIGURA 22: PONTOS ANALISADOS NA DF-001....47
FIGURA 23: PONTOS ANALISADOS NA DF-430....47
FIGURA 24: PONTOS ANALISADOS NA DF-002....48
FIGURA 25: PONTOS ANALISADOS NA DF-047....48
FIGURA 26: PONTOS ANALISADOS NA DF-003 (BRT GAMA)....49
FIGURA 27: PONTOS ANALISADOS NA DF-047 (SENTIDO GAMA)....49

FIGURA 28: PENEIRAS GRANULOMÉTRICAS 50

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: AVALIAÇÃO DA MACROTEXTURA 33
TABELA 2: ANÁLISE DE MICROTEXTURA 37
TABELA 3: VALORES DO IFI 40
TABELA 4: RODOVIAS ESTUDADAS 45
TABELA 5: RESULTADOS DE MACROTEXTURA NO CONCRETO ASFÁLTICO PARA A RODOVIA DF-001 53
TABELA 6: RESULTADOS DE MICROTEXTURA NO CONCRETO ASFÁLTICO DA RODOVIA DF-001 55
TABELA 7 CÁLCULO DO IFI PARA A DF-001 57
TABELA 8: RESULTADOS DE MACROTEXTURA NO CONCRETO ASFÁLTICO NA RODOVIA DF-430 59
TABELA 9: RESULTADOS DE MICROTEXTURA NO CONCRETO ASFÁLTICO DA RODOVIA DF-430 61
TABELA 10: CÁLCULO DO IFI PARA A DF-430 62
TABELA 11: RESULTADOS DE MACROTEXTURA PARA O MICRORREVESTIMENTO DA RODOVIA DF-002 64
TABELA 12: RESULTADOS DE MICROTEXTURA PARA O MICRORREVESTIMENTO DA RODOVIA DF-002 65
TABELA 13: CÁLCULO DO IFI PARA A DF-002 67
TABELA 14: RESULTADOS DE MACROTEXTURA PARA O PAVIMENTO RÍGIDO DA RODOVIA DF-047 69
TABELA 15: RESULTADOS DE MICROTEXTURA PARA O PAVIMENTO RÍGIDO DA RODOVIA DF-047 70
TABELA 16: CÁLCULO DO IFI PARA O PAVIMENTO RÍGIDO DA DF-047 71
TABELA 17:RESULTADOS DE MACROTEXTURA PARA O PAVIMENTO RÍGIDO DA RODOVIA DF-003 73
TABELA 18: RESULTADOS DE MICROTEXTURA PARA O PAVIMENTO RÍGIDO DA RODOVIA DF-003 75
TABELA 19: CÁLCULO DO IFI PARA O PAVIMENTO RÍGIDO DA DF-003 76

TABELA 20: RESULTADOS DE MACROTEXTURA PARA O MICRORREVESTIMENTO DA RODOVIA DF-047 78
TABELA 21: RESULTADOS DE MICROTEXTURA PARA O MICRORREVESTIMENTO DA RODOVIA DF-047 79
TABELA 22: CÁLCULO DO IFI PARA O MICRORREVESTIMENTO A DF-047 81

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: RESULTADOS DO ENSAIO MANCHA DE AREIA NO CONCRETO ASFÁLTICO DA DF-001 54
GRÁFICO 2: RESULTADOS DO ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO NA DF-001 56
GRÁFICO 3: MACROTEXTURA X MICROTEXTURA NA DF-001 58
GRÁFICO 4: RESULTADOS DO ENSAIO MANCHA DE AREIA NO CONCRETO ASFÁLTICO DA DF-430 60
GRÁFICO 5: RESULTADOS DO ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO NO CONCRETO ASFÁLTICO DA DF-430 61
GRÁFICO 6: MACROTEXTURA X MICROTEXTURA NA DF-430 63
GRÁFICO 7: RESULTADOS DO ENSAIO MANCHA DE AREIA NO MICRORREVESTIMENTO DA DF-002 64
GRÁFICO 8: RESULTADOS DO ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO NO MICRORREVESTIMENTO DA DF-002 66
GRÁFICO 9: MACROTEXTURA X MICROTEXTURA NA DF-002 68
GRÁFICO 10: RESULTADOS DO ENSAIO MANCHA DE AREIA NO PAVIMENTO RÍGIDO DA DF-047 69
GRÁFICO 11: RESULTADOS DO ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO DO PAVIMENTO RÍGIDO DA DF-047 71
GRÁFICO 12: MACROTEXTURA X MICROTEXTURA DO PAVIMENTO RÍGIDO NA DF-047 72
GRÁFICO 13: RESULTADOS DO ENSAIO MANCHA DE AREIA NO PAVIMENTO RÍGIDO DA DF-003 74
GRÁFICO 14: RESULTADOS DO ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO DO PAVIMENTO RÍGIDO DA DF-003 75
GRÁFICO 15: MACROTEXTURA X MICROTEXTURA DO PAVIMENTO RÍGIDO NA DF-003 77
GRÁFICO 16: RESULTADOS DO ENSAIO MANCHA DE AREIA NO MICRORREVESTIMENTO DA DF-047 78

GRÁFICO 17: RESULTADOS DO ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO DO MICRORREVESTIMENTO DA DF-047 80
GRÁFICO 18: MACROTEXTURA X MICROTEXTURA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL NA DF-047 82
GRÁFICO 19: ANÁLISE COMPARATIVA DE RODOVIAS COM CONCRETO ASFÁLTICO 83
GRÁFICO 20: ANÁLISE COMPARATIVA DE RODOVIAS QUE RECEBERAM CAMADA DE MICRORREVESTIMENTO 85
GRÁFICO 21: ANÁLISE COMPARATIVA DE RODOVIAS COM PAVIMENTO RÍGIDO 86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNT – Confederação Nacional do Transporte

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DER- Departamento de Estradas e Rodagem

PIN – Plano de Integração Nacional

DER-DF – Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

AFNBR - *Association Française de Normalisation*

VRD - Valor de Resistência à Derrapagem

IFI - *Internacional Friction Index*

PIARC - *Permanent International Association of Road Congress*

AIPCR - *Association International Permanente des Congrèss de la Route*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

FHWA – Federal Highway Administration

MP – Manual de Procedimentos.

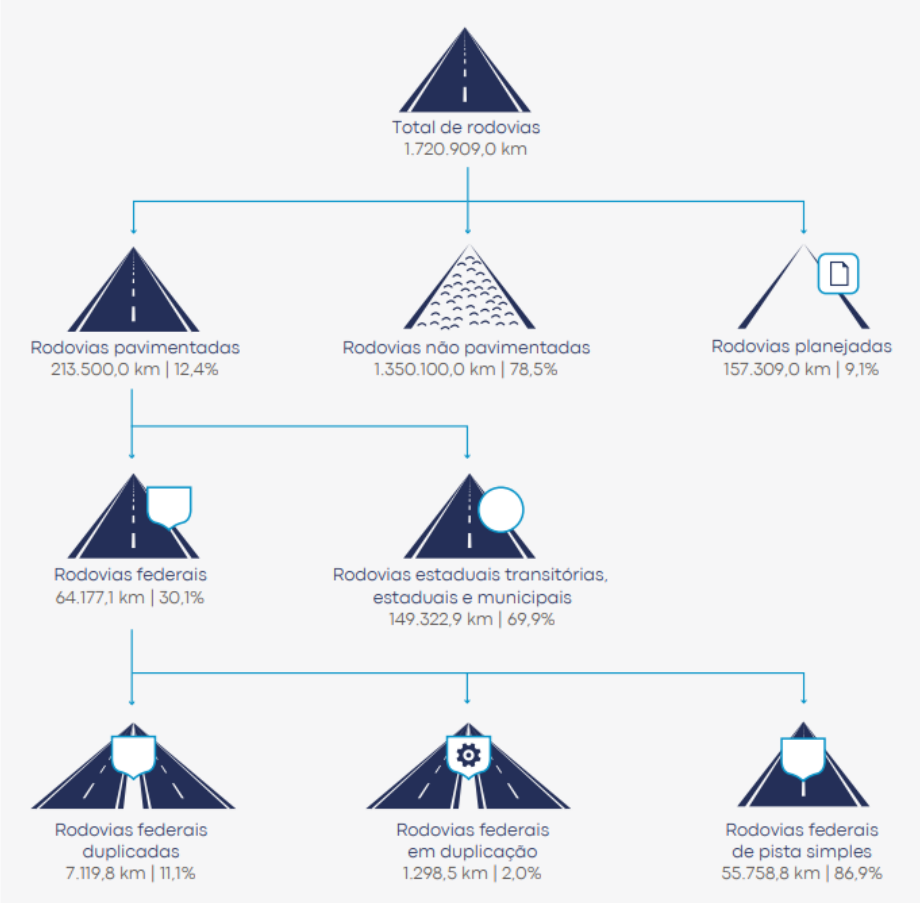
.

1. INTRODUÇÃO

O largo uso de rodovias advém, no Brasil, da industrialização ocorrida a partir da década de 1930, que trouxe a necessidade de maior integração do mercado interno e de maiores investimentos no transporte rodoviário. Aos poucos, foi sendo implantada uma malha rodoviária nacional, conectando os estados brasileiros às áreas industriais da região Sudeste, principalmente. Em 1970, foi criado o PIN, plano direcionado à implantação de grandes rodovias, como parte de um projeto mais amplo dos governos militares de ocupação do Centro-Oeste e de colonização da Amazônia, que atuou fortemente no desenvolvimento rodoviário nacional. Dessa maneira, a malha rodoviária do Brasil foi crescendo e formando rotas importantes nacionalmente. Já a nível mundial, o rodoviarismo consolidou-se com a expansão da indústria automobilística numa época em que os preços dos combustíveis derivados do petróleo eram baixos, por volta de 1950.

Após esse longo período de investimentos iniciais, o transporte rodoviário no Brasil é hoje o principal sistema logístico do país e conta com uma rede de 1.720.909,00 quilômetros de estradas e rodovias nacionais, conforme a Figura 1. Essa matriz de transporte tem uma participação expressiva do modal rodoviário, que concentra cerca de 65% da movimentação de mercadorias e de 95% da de passageiros, segundo o anuário de 2021 da CNT. Dito isso, é de suma importância que haja estudos de segurança para garantir que a malha rodoviária esteja apta para servir de meio de transporte suficientemente seguro para todos os usuários.

Figura 1:Malha Rodoviária Brasileira



Fonte: pesquisa CNT de rodovias de 2021

Atualmente, o DNIT é o órgão federal que legisla e atua na prevenção de acidentes relacionados à segurança de rodovias. E, em escala de regional, é de responsabilidade do DER de cada estado zelar pela segurança de sua malha rodoviária. Para realizar tal trabalho, os órgãos contam com diversos manuais e com resultados de ensaios de segurança em pavimentos asfálticos ou em concreto de cimento Portland. Para sintetizar parâmetros de segurança importantes, o DNIT disponibilizou, em 2006, o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos.

Segundo este Manual, a principal propriedade do pavimento, no que diz respeito à segurança, independentemente de fatores relacionados com as condições em planta, perfil e seção transversal da rodovia, é a sua capacidade de proporcionar a adequada aderência e atrito entre a sua superfície e os pneus dos veículos. Os segmentos com baixo valor de aderência e/ou altos índices de acidentes devem ser identificados. Tais identificações permitem ao órgão rodoviário

realizar uma análise mais profunda, caso a caso, e com isso avaliar as necessidades e programar medidas corretivas.

Após a exposição, é notória a importância nacional que a análise de segurança de pavimentos tem. Este estudo, portanto, avaliou vias selecionadas do Distrito Federal sob a jurisdição do DER-DF no quesito de segurança de pavimentos. Os estudos realizados dizem respeito à condição da textura do pavimento, importante fator que está diretamente ligado à distância de frenagem dos veículos na via projetada, já que, condições inadequadas de textura do pavimento podem acarretar um aumento do número de acidentes nestas vias.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral dessa pesquisa é analisar a influência das variáveis independentes “Idade do Pavimento e Tipo de Revestimento” nas variáveis dependentes “Valor de Resistência à Derrapagem (VSR), Textura da superfície, e Índice Internacional de Atrito (IFI)”.

1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos adotados para o objetivo final foram:

- Escolha das vias mais adequadas junto ao DER-DF;
- Realização do ensaio de macrotextura do pavimento, mancha de areia, e análise de dos resultados encontrados;
- Realização do ensaio de microtextura do pavimento, pêndulo britânico, e análise dos resultados encontrados;
- Considerações finais sobre o estudo e sugestões de melhoria das vias.

1.2. JUSTIFICATIVA

O tipo de transporte mais utilizado nacionalmente, o modal rodoviário, conta, estatisticamente, com um maior índice de acidentes em relação a outros meios de transporte. Segundo consta no Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários, divulgado em 08 de fevereiro de 2022, o índice de acidentes nas rodovias federais brasileiras aumentou 1,6% em 2021 em relação a 2020, as ocorrências passaram de 63.447 para 64.452 casos. O mesmo se deu com

as mortes, que cresceram 2,0%, passando de 5.287 vidas perdidas na malha federal, em 2020, para 5.391, no ano de comparação. Esses dados são extremamente alarmantes, dada a preciosidade da vida humana.

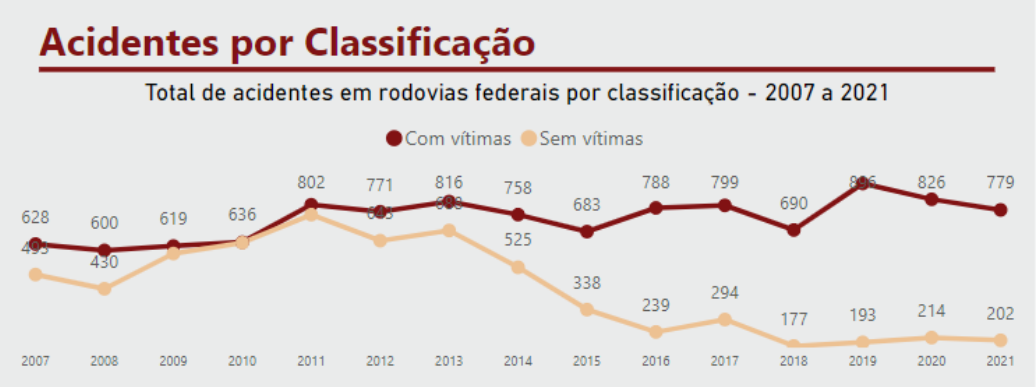
No que diz respeito ao Distrito Federal, local em que foram realizados os estudos, os dados retirados do Painel CNT são apresentados nas Figuras 2, 3, 4 e 5.

Figura 2: Acidentes rodoviários no Distrito Federal



Fonte: Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários

Figura 3:Acidentes por classificação no Distrito Federal



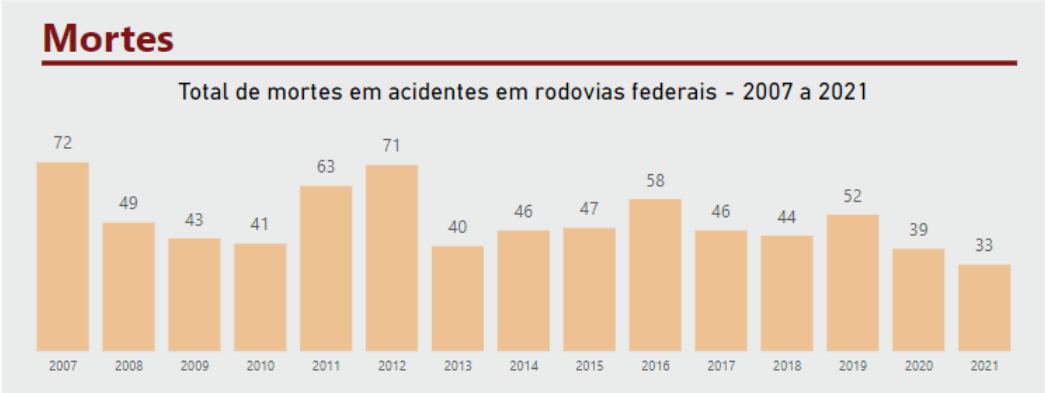
Fonte: Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários

Figura 4: Feridos por acidentes rodoviários no Distrito Federal



Fonte: Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários

Figura 5: Mortes em acidentes rodoviários no Distrito Federal

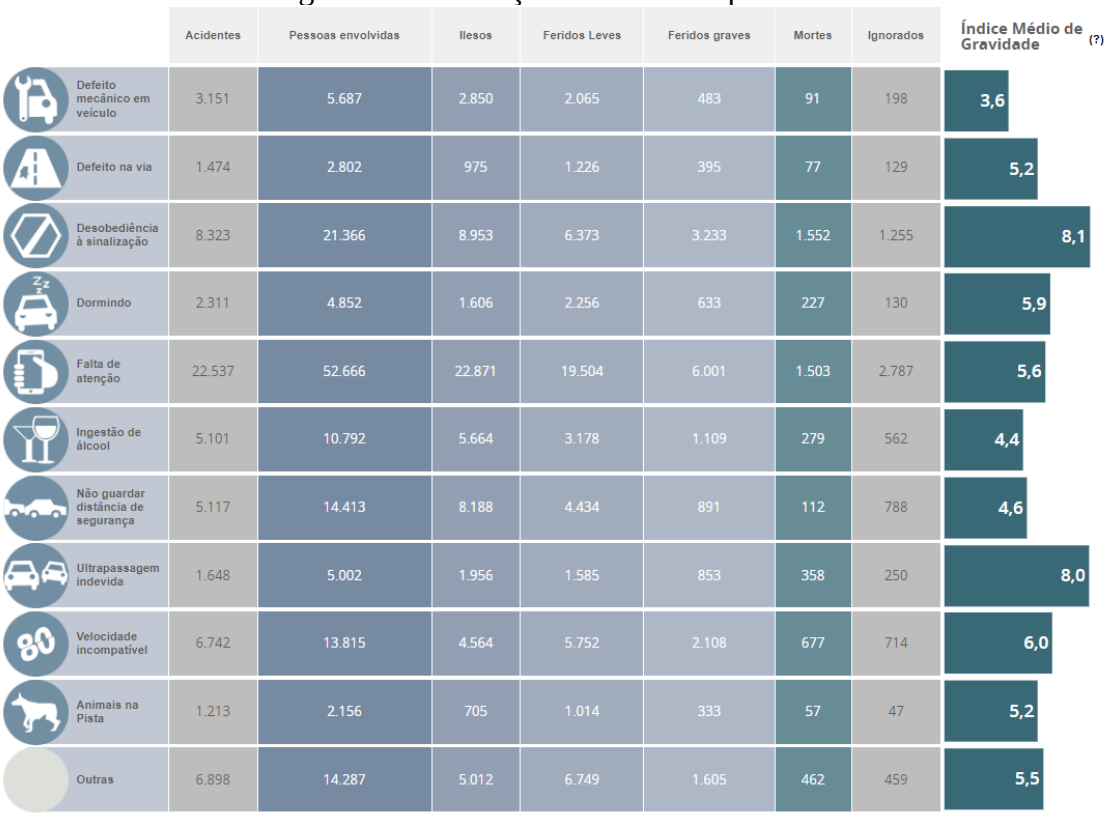


Fonte: Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários

Além de toda perda humana causada pelos acidentes em rodovias, o dano material também é alto. De acordo com dados extraídos da CNT, o custo anual estimado dos acidentes ocorridos em rodovias federais no Brasil chegou a R$ 12,19 bilhões. Esse montante é superior ao valor total efetivamente investido em rodovias em 2021, que foi de R$ 5,76 bilhões de reais.

E, no que diz respeito às causas de acidentes, o Atlas da Acidentalidade no Transporte Brasileiro demonstra que defeitos na via causaram 1.474 acidentes em 2021, gerando 77 mortes, conforme a Figura 6. Nesse estudo, o Índice Médio de Gravidade é calculado de forma a informar as causas de acidentes mais letais. O defeito de via possui um alto índice, de 5,2.

Figura 6: Distribuição de acidentes por causa



	Acidentes	Pessoas envolvidas	Ilesos	Feridos Leves	Feridos graves	Mortes	Ignorados	Índice Médio de Gravidade (?)
Defeito mecânico em veículo	3.151	5.687	2.850	2.065	483	91	198	3,6
Defeito na via	1.474	2.802	975	1.226	395	77	129	5,2
Desobediência à sinalização	8.323	21.366	8.953	6.373	3.233	1.552	1.255	8,1
Dormindo	2.311	4.852	1.606	2.256	633	227	130	5,9
Falta de atenção	22.537	52.666	22.871	19.504	6.001	1.503	2.787	5,6
Ingestão de álcool	5.101	10.792	5.664	3.178	1.109	279	562	4,4
Não guardar distância de segurança	5.117	14.413	8.188	4.434	891	112	788	4,6
Ultrapassagem indevida	1.648	5.002	1.956	1.585	853	358	250	8,0
Velocidade incompatível	6.742	13.815	4.564	5.752	2.108	677	714	6,0
Animais na Pista	1.213	2.156	705	1.014	333	57	47	5,2
Outras	6.898	14.287	5.012	6.749	1.605	462	459	5,5

Fonte: Atlas da Acidentalidade no Transporte Brasileiro, 2021.

O defeito de via da análise do Atlas considera diversos tipos de defeitos de pavimento, sendo eles: fissuras, trincas longitudinais e transversais, trincas em malha tipo “couro de jacaré” ou tipo “bloco”, afundamento plástico ou de consolidação, ondulação ou corrugação, escorregamento, exsudação, desgaste, panela, baixa aderência pneu-pavimento e remendos.

Tomando como base todos esses dados, a demanda para estudos na área de segurança de pavimentos é de extrema relevância, sendo possível evitar perdas humanas e diminuir o gasto anual com acidentes de trânsito. Desta forma, esse estudo justifica-se pela importância em reduzir despesas e aumentar a confiabilidade das rodovias no quesito da segurança do usuário.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O pavimento é uma estrutura constituída de múltiplas camadas que devem atender, simultaneamente, aspectos estruturais e funcionais. Na prática, os usuários de um sistema viário percebem e atribuem maior valor às características funcionais de uma rodovia, principalmente, quanto à condição de rolamento e à segurança proporcionada pela via.

Em termos de segurança viária, entre as características importantes de um pavimento, está a aderência que o revestimento fornece ao pneu do veículo durante o seu movimento. A camada de rolamento da via deve garantir a segurança do usuário mesmo em condições adversas de dirigibilidade.

Desta forma, surge a necessidade do entendimento dos mecanismos de aderência pneu-pavimento. Portanto, no que se segue, serão abordados conceitos para compreensão de como as condições da textura superficial influenciam na aderência pneu-pavimento e de como estabelecer critérios para determinar o momento oportuno para a realização de atividades de manutenção ou reabilitação da vida, visando garantir a segurança e, por consequência, a redução no número de acidentes.

2.1. TIPOS DE REVESTIMENTOS DE PAVIMENTAÇÃO

No Brasil, há três grandes grupos de tipos de revestimento para pavimentação, são eles: os pavimentos flexíveis, semirrígidos e rígidos. O pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (DNIT,2006). O pavimento rígido é constituído por camadas que trabalham essencialmente à tração. Seu dimensionamento é baseado nas propriedades resistentes de placas de concreto de cimento Portland, as quais são apoiadas em uma camada de transição, a sub-base. Já o para MEDINA, 1997, quando se tem uma base cimentada sob o revestimento betuminoso, o pavimento é dito

semirrígido. O inverso, o pavimento reforçado de concreto asfáltico sobre placa de concreto é considerado como pavimento composto.

No que diz respeito à análise granulométrica, os materiais utilizados em pavimentos flexíveis compõem o produto final chamado de concreto asfáltico. Há várias formas de obter esse material, mas, em geral os materiais mais empregados são agregados graúdos, agregados miúdos, material de enchimento filer e ligante asfáltico. De acordo com a faixa granulométrica escolhida em projeto, a concepção final do concreto asfáltico pode apresentar-se de diversas maneiras, sendo alguns exemplos apresentados na Figura 7.

Figura 7: Exemplos de corpos-de-prova de misturas asfálticas

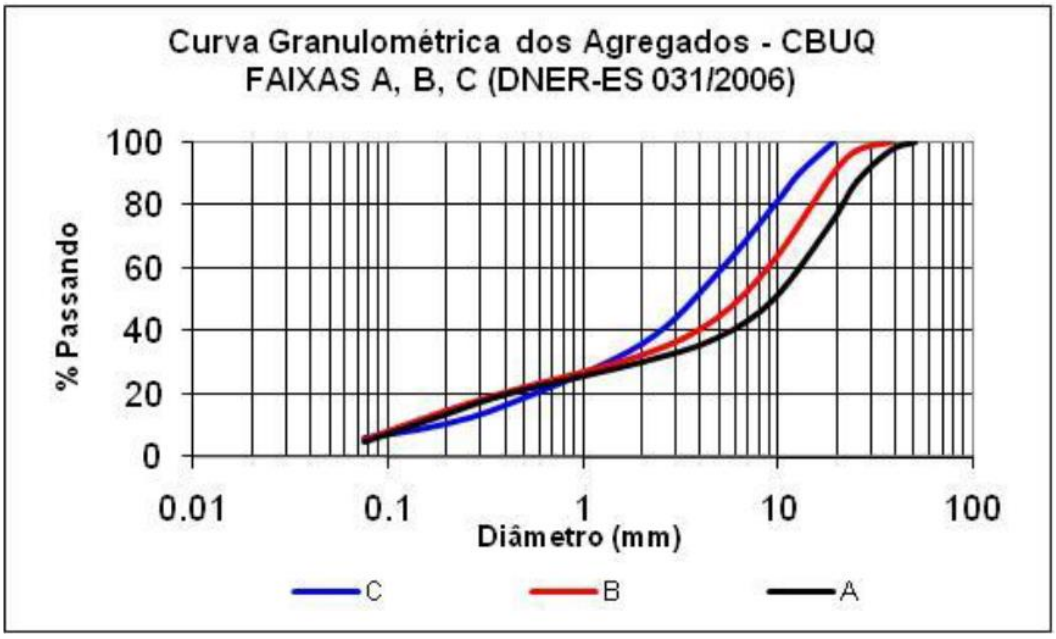


Fonte: Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros

É visível a diferença entre os concretos asfálticos de acordo com a faixa granulométrica escolhida. Para controlar o processo de fabricação de cada faixa de mistura asfáltica, é necessário que haja o enquadramento do diâmetro dos agregados na curva granulométrica especificada em norma pelo DNIT, conforme apresenta-se na Figura 8. Cada faixa de serviço

atua de forma diferente na aderência pneu-pavimento, sendo necessário escolher a que se adequa corretamente ao tipo de tráfego de cada rodovia.

Figura 8: Curva Granulométrica dos Agregados



Fonte: DNER – ES 031/2006

Da mesma maneira, a faixa granulométrica de pavimentos rígidos é controlada de maneira a garantir a correta aderência pneu-pavimento. Segundo o Manual de Pavimentos Rígidos, DNIT, 2005, para os agregados destinados à produção de concreto de cimento Portland destinado para as obras de pavimentação rígida, são exigidas condições especiais que diferem daquelas adotadas para concreto de edificações, pontes e outros tipos de estruturas. Isto se deve ao fato de ser necessário para o concreto de pavimentação, que ele tenha maior resistência à tração, menores variações volumétricas, menor suscetibilidade à fissuração, resistência à fadiga e elevada durabilidade à ação do meio ambiente e à ação abrasiva do tráfego. Para obtenção desses parâmetros, são realizados diversos ensaios durante a fase de escolha dos agregados e no concreto de cimento Portland. Além do controle de qualidade de agregados, o pavimento rígido conta com uma texturização para evitar a aderência pneu-pavimento, que é a inserção de pequenas ranhuras na superfície do revestimento.

Os pavimentos compostos são composições de pavimentos rígido com flexíveis e, portanto, de acordo com a camada que está sendo aplicada ou restaurada, ou seja, uma adição de camada de revestimento de concreto de cimento Portland ou camada de concreto asfáltico, a análise de

segurança e faixa de trabalho obedece as premissas de execução de pavimento rígido ou flexível, respectivamente.

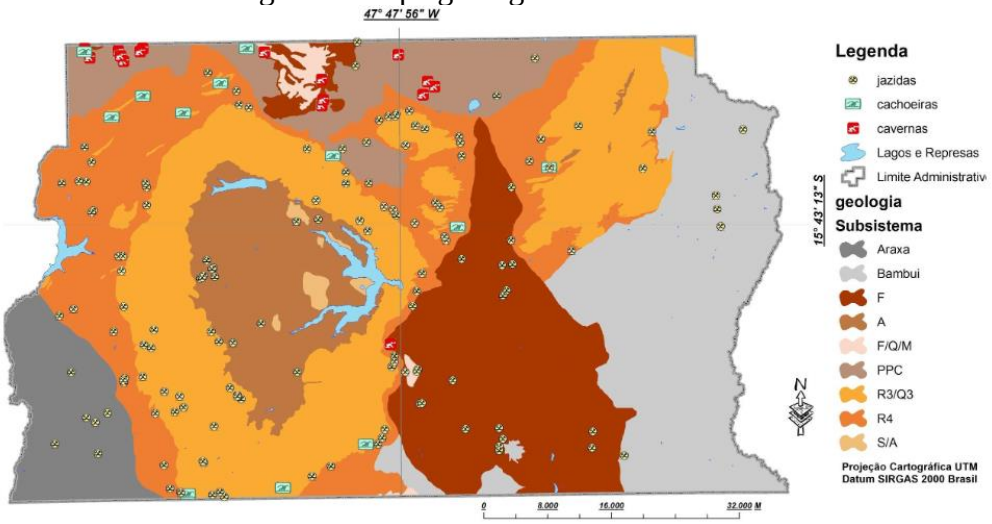
Em suma, diante de qualquer escolha de revestimento feita pelo projetista de pavimentação, requer-se atenção à aderência pneu-pavimento, que é medida de acordo com o atrito causado pelos agregados escolhidos.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS DO DISTRITO FEDERAL

Dada a natureza da constituição da mistura asfáltica e do concreto de cimento Portland para pavimentação, os agregados das misturas são materiais decisivos nos diversos aspectos de segurança de pavimento, já que estarão em contato direto com o pneu dos veículos. Um bom traço de mistura asfáltica e um controle de *slump* no concreto para pavimentos rígidos é fundamental para uma boa vida do pavimento, melhorando suas condições de atrito pneu-pavimento.

De posse dessas informações, é sabido que, para obras de pavimentação, dado o grande volume de agregados utilizados e seu alto custo em britagem e transporte, normalmente utiliza-se as jazidas mais próximas da obra para execução da mistura. No caso do Distrito Federal, Estado com 5.760 km² (IBGE,2019), as jazidas estão dispostas de forma geologicamente próxima, o que caracteriza o agregado de Brasília de maneira similar, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9: Mapa geológico do Distrito Federal



Fonte: Physis Terrae, Vol. 1, nº 2, 2019, 61-81. ISSN: 2184-626X

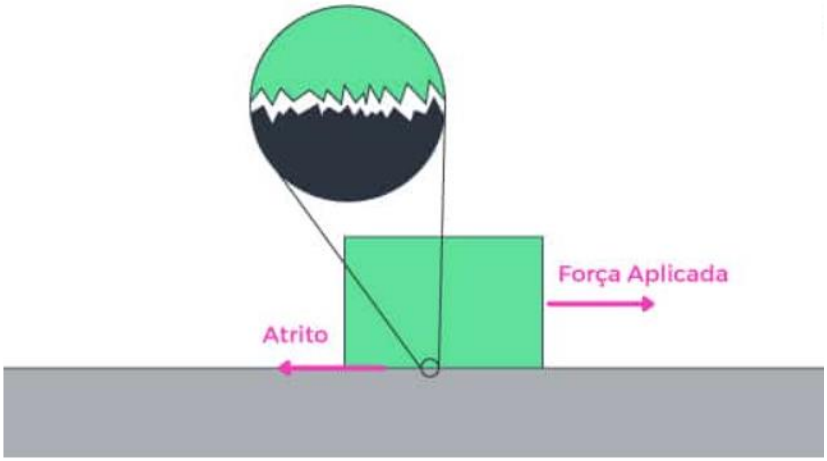
Posto isso, é sabido que a predominância em Brasília é de agregados com matriz calcária, material advindo de rocha sedimentar que possui, em relação às rochas ígneas e metamórficas, menor resistência mecânica.

Em suma, o tipo de agregado presente no Distrito Federal impacta no atrito pneu-pavimento nas rodovias do Estado. É importante realizar ensaios de abrasão nos agregados dos traços de mistura asfáltica para verificar a taxa de degaste gerada no material e atuar na gerência de pavimentos para garantir a segurança das vias.

2.3. ATRITO

Um fator de suma importância para a análise da segurança viária é o atrito, atuante principalmente na superfície pneu-pavimento. Segundo Halliday (2006), a força de atrito pode ser definida como uma força exercida por uma superfície em um corpo quando este desliza ou tenta deslizar sobre a superfície. Esta força é paralela à superfície e possui sentido oposto ao deslizamento, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10: Representação da força de atrito em oposição ao movimento de um corpo



Fonte: Beduka

Conforme DNIT (2011), é necessário avaliar o aspecto do pavimento quanto ao atrito pneu-pavimento, o qual é função da aderência, principalmente em dias de chuva, que envolve a resistência à derrapagem. O parâmetro de rugosidade do pavimento é definido como parâmetro de resistência à derrapagem e é determinado baseado na sua textura superficial, que representa o grau de interação entre os pneus do veículo e a superfície do pavimento.

E, para avaliar o parâmetro da rugosidade, *Canadian National Committee* (2015) afirma que é avaliado usando dois parâmetros: a macrotextura, dependente da profundidade da textura do pavimento, e a microtextura, estimada por meio do coeficiente de atrito vinculado ao grau de suavização da superfície dos agregados.

2.4. MACROTEXTURA

A macrotextura do pavimento depende da escolha dos agregados no que tange sua dimensão, assim como o teor de ligante asfáltico utilizado na mistura asfáltica do revestimento. Ou, no caso de pavimento rígido, dos agregados e da execução da texturização. A macrotextura do pavimento é responsável pela aderência pneu-pavimento para velocidades médias ou altas, devendo facilitar o escoamento de águas superficiais e evitar derrapagem dos veículos.

Segundo Fernandes (1998, *apud* Ferreira, 2002), o tipo de macrotextura apresentada inicialmente por um revestimento asfáltico depende dos seguintes fatores:

a) Origem Mineralógica: de acordo com a rocha-mãe os granulares podem apresentar características diversas, como a resistência ao desgaste, esfericidade ou angularidade.
b) Processo de Britagem: influencia no grau de esfericidade do granular, preferindo-se os processos que eliminem direções preferenciais de ruptura e que proporcionem forma cúbica ao granular;
c) Projeto das misturas do revestimento: determina a granulometria do material a ser empregado, a partir do diâmetro máximo efetivo do granular. Geralmente misturas que apresentam alta macrotextura inicial são compostas por baixos teores de granulares nas dimensões da areia ou possuem uma granulometria descontínua;
d) Método de preparação do revestimento: pode provocar uma heterogeneidade nas misturas devido ao teor de betume. O método da Penetração Invertida geralmente resulta em exsudação. Em misturas preparadas em usinas observa-se um melhor resultado na homogeneidade da macrotextura;
e) Método de execução da camada de revestimento: necessidade do cumprimento das determinações de projeto, como temperatura de execução, energia de compactação e o número de passadas do rolo compressor.

Desta forma é possível inferir que a macrotextura de um pavimento vai sendo alterada ao longo do tempo, sendo modificada pela ação do tráfego, já que ela está diretamente relacionada com os materiais da mistura asfáltica. Posto isso, é necessário avaliar periodicamente o valor desse parâmetro para que seja possível garantir a segurança da vida, principalmente para derrapagens e aquaplanagens. E, para aferir esse valor, os ensaios mais tradicionais são: Mancha de Areia, Perfilômetro Laser e Drenabilidade.

O ensaio de Drenabilidade consiste em medir o tempo necessário para um volume conhecido de água passar sob uma marcação conhecida do cilindro. O tempo de saída da água indica a

macrotextura do pavimento. No caso de ser um tempo baixo, ele indica superfícies ásperas, caso contrário indica superfícies mais lisas (APS, 2006). O ensaio de Perfilômetro Laser consiste em utilizar um dispositivo medidor de textura que gera perfis longitudinais da superfície do pavimento, obtendo-se dois índices: a profundidade perfil (MPD) e raiz média quadrática (RMS). O primeiro índice representa a média dos picos mais altos do perfil e o segundo é um valor estatístico que indica o quanto os dados medidos se afastam de um ajuste perfeito dos dados. O ensaio de Mancha de Areia será apresentado em tópico próprio porque foi o escolhido para a realização do estudo, de acordo com os materiais, os equipamentos e a mão-de-obra disponibilizada pelo DER-DF.

2.4.1. Ensaio de mancha de areia

O ensaio de Mancha de Areia está normatizado pelas seguintes bibliografias: Método ASTM E 965-96 (2006), Norma AFNBR NF-P.98-216-7 e Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, DNIT, 2006. Como as duas primeiras referências são citadas no Manual, foi seguido o procedimento adotado pelo DNIT, que já é de conhecimento do DER-DF, órgão que tornou possível a realização dos ensaios.

O ensaio consiste em preencher os vazios da textura superficial do pavimento com um volume conhecido de um areia padrão, espalhando-a com movimentos circulares de modo que o diâmetro final da mancha seja função da altura média e, consequentemente, do volume consumido. Os equipamentos para a realização do ensaio são:

a) Uma caixa para impedir a incidência do vento sobre a amostra, com diâmetro mínimo de 50 cm x 50 cm;
b) Pincel para limpar a área a ser ensaiada;
c) Um recipiente de volume conhecido (25.000 m^3) preenchido com areia de granulometria padrão;
d) Um dispositivo próprio para o espalhamento da areia;

e) Régua graduada para relacionar o diâmetro da mancha com o volume de areia e a macrotextura do pavimento.

No caso desse estudo, a areia utilizada é uniforme e possui formato esférico, cujos grãos passam pela peneira de abertura de 0,3 mm (#50) e ficam retidos na peneira com abertura de 0,15 mm (#100). Um exemplo de realização do ensaio Mancha de Areia pode ser observado na Figura 11.

Figura 11: Realização do ensaio Mancha de Areia



Fonte: ARTERIS E 965 – 16

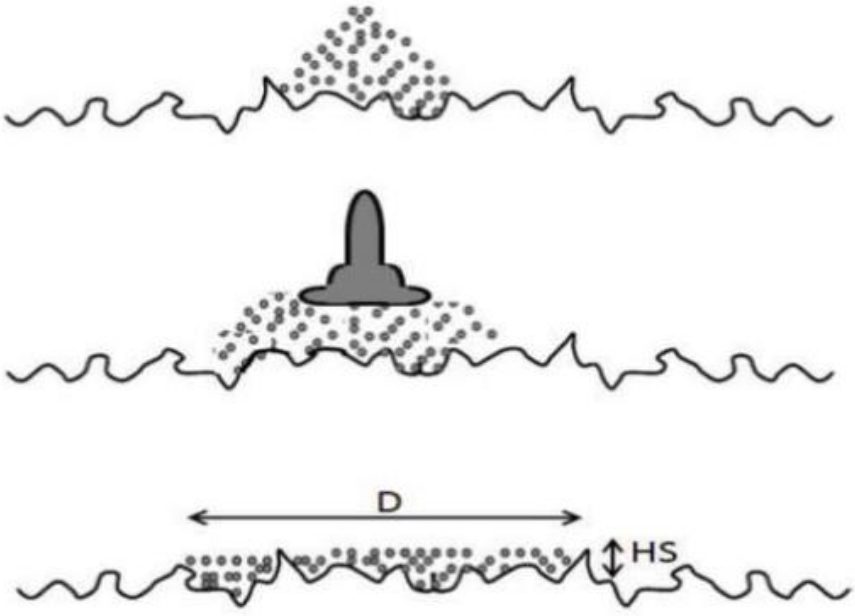
Para a coleta de dados, deve-se realizar os seguintes procedimentos:

a) Escolha do local para a obtenção de dados, sendo três locais possíveis: o Trilho de Rodas Interno, o Centro de Faixa ou o Trilho de Rodas Externo.
b) Limpeza da área de interesse com o pincel para evitar interferências no ensaio;

c) Posicionamento da caixa de proteção ao vento;
d) Enchimento do recipiente de volume conhecido e espalhamento no pavimento;
e) Realizar movimentos circulares com o disco plano;
f) Por fim, com a régua deve-se realizar quatro medições das dimensões da figura geométrica formada, permitindo posteriormente o cálculo de sua área.

Para cada ponto estudado, esse procedimento deve ser repetido nos três pontos de interesse, o Trilho de Rodas Interno, o Centro de Faixa ou o Trilho de Rodas Externo. A Figura 12 ilustra a execução do ensaio.

Figura 12: Procedimento para execução do ensaio de mancha de areia



Fonte: MATTOS (2009).

Após a coleta de dados em campo, o procedimento para obtenção da profundidade da textura pode ser obtido pela fórmula:

$$Profundidade\ da\ Textura\ Inicial\ = \frac{Volume\ de\ areia}{Área\ \ da\ mancha\ de\ areia} = \frac{25.000\ m^3}{\frac{\pi \times D^2}{4}}$$

Sendo D o valor do diâmetro, medido em campo, em centímetros. Esse cálculo deve ser realizado para cada uma das quatro medições realizadas na mancha. Feito isto, é necessário calcular a profundidade média pela fórmula:

$$Profundidade\ média\ da\ Textura\ = \frac{Soma\ de\ profundidades\ da\ textura}{Número\ de\ medições}$$

Para essa pesquisa, esses dados serão representados na forma da Figura 13, seguindo o modelo do DER-DF para realização de ensaio de Mancha de Areia.

Figura 13: Modelo de representação de dados de Mancha de Areia

PONTO 01

T.R.I.				
RT-03.25 DER-MG				
Leitura	Diâmetro da Mancha de Areia Medido (cm)	Área Calculada (cm^2)	Volume de areia (cm^3)	Altura da Areia (cm)
1ª		0,00	25,00	
2ª		0,00	25,00	
3ª		0,00	25,00	
4ª		0,00	25,00	
Valor Médio das Alturas de Areia (HS)				
Valor Médio das Alturas de Areia (HS)				
Textura Superficial Obtida:				

PONTO 01

F. C.				
RT-03.25 DER-MG				
Leitura	Diâmetro da Mancha de Areia Medido (cm)	Área Calculada (cm^2)	Volume de areia (cm^3)	Altura da Areia (cm)
1ª		0,00		#DIV/0!
2ª		0,00		#DIV/0!
3ª		0,00		#DIV/0!
4ª		0,00		#DIV/0!
Valor Médio das Alturas de Areia (HS)				
Valor Médio das Alturas de Areia (HS)				
Textura Superficial Obtida:				

PONTO 01

T.R.E.				
RT-03.25 DER-MG				
Leitura	Diâmetro da Mancha de Areia Medido (cm)	Área Calculada (cm^2)	Volume de areia (cm^3)	Altura da Areia (cm)
1ª		0,00	25,00	
2ª		0,00	25,00	
3ª		0,00	25,00	
4ª		0,00	25,00	
Valor Médio das Alturas de Areia (HS)				
Valor Médio das Alturas de Areia (HS)				
Textura Superficial Obtida:				

Obs: Pavimento rígido

Fonte: Própria.

Após essa apuração, o profissional é capaz de saber como é classificada a textura da superfície, de acordo com parâmetros tabelados do Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, DNIT, 2006, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Avaliação da Macrotextura

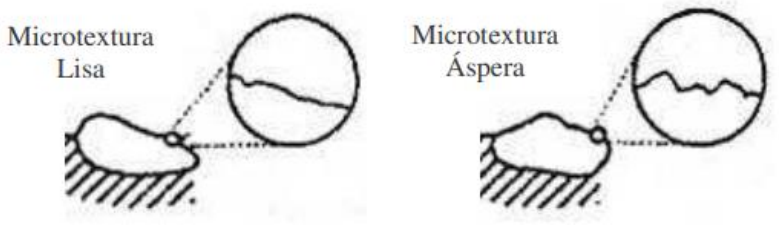
AVALIAÇÃO DA MACROTEXTURA / MÉTODO DA ALTURA DE AREIA	
PROFUNDIDADE MÉDIA EM (mm)	TEXTURA SUPERFICIAL
HS < 0,20 mm	MUITO FINA OU MUITO FECHADA
0,20 mm < 0,40 mm	FINA OU FECHADA
0,40 mm < HS < 0,80 mm	MÉDIA
0,50 mm < HS < 1,20 mm	GROSSEIRA OU ABERTA
HS > 1,20 mm	MUITO GROSSEIRA OU ABERTA
LIMITES SUGERIDOS: HS Profundidade Média 0,6 mm < HS < 1,2 mm	

Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, DNIT, 2006, página 110. Adaptado.

2.5. MICROTEXTURA

De acordo com a ICAO (2002), a microtextura é a textura representada pela superfície das partículas individualmente, que podem ser sentidas pelo tato, mas que não se pode medir diretamente. Para RODRIGUES FILHO (2006), a microtextura não é visível a olho nu, porém, através de uma avaliação tátil, pode ser classificada como lisa ou áspera.

Figura 14: Tipos de microtextura



Fonte: KAZDA e CAVES (2000).

Uma superfície com microtextura áspera ou rugosa, para KAZDA e CAVES (2000), permite uma penetração substancial de uma película fina de água, proporcionando um nível geral de atrito alto. Por sua vez, uma superfície com uma microtextura lisa ou polida possui propriedades deficientes de penetração de uma película fina de água. O nível geral de atrito, para esse tipo de microtextura, geralmente apresenta baixos resultados.

Da mesma forma que ocorre com a macrotextura, a microtextura de um pavimento possui valores diferentes ao longo do tempo, ocorridos pela ação do tráfego. No que diz respeito à avaliação da microtextura, BERNUCCI et al. (2007), recomenda a utilização do Pêndulo Britânico. O Pêndulo Britânico, segundo a DYNATEST (2008a), é um equipamento portátil desenvolvido inicialmente pelo Escritório Nacional de Padronização dos Estados Unidos (*United States National Bureau of Standards*) e aperfeiçoado pelo Laboratório Britânico de Pesquisa Rodoviária (*British Road Research Laboratory*) objetivando executar ensaios de resistência à derrapagem em superfícies úmidas, simulando a passagem do pneu de um veículo a uma velocidade aproximada de 60 km/h.

2.5.1. Ensaio de pêndulo britânico

Segundo DNIT, 2006, o pêndulo britânico determina, por uma medida escalar, o grau de escorregamento (ou derrapagem) presente na superfície de um pavimento. Esse dito escorregamento pode ser tratado também como o grau de aderência entre o pneu e o pavimento, ou, também chamado como coeficiente de atrito cinemático.

E, para normatizar o ensaio, o DNIT cita, em seu manual, a ASTM E 303-93, elaborada pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e que especifica o ensaio. A descrição dos princípios de funcionamento deste equipamento é descrita no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT:

> "O equipamento consiste de uma placa de borracha simulando a superfície de um pneumático de veículo automotor montada no extremo de um pêndulo que, liberado em queda livre, descreve um arco circular que tangencia e fricciona a superfície do pavimento onde se coloca o aparelho para o ensaio. A diferença de altura entre o centro de gravidade da placa de borracha tomada antes e depois que ela desliza sobre a superfície do revestimento é utilizada para avaliar a perda de energia devido à fricção. As condições do ensaio foram definidas de tal forma que os valores apresentados no mostrador do equipamento corresponderam ao Valor de Resistência à Derrapagem - VRD de um pneumático padrão derrapando sobre o pavimento."

Tomando como base a descrição apresentada acima, os materiais para a realização do ensaio são:

a) Pêndulo Britânico, medidor de aderência portátil;
b) Recipiente com água para molhar o pavimento no caso deste estar seco;
c) Pincel para limpeza da área de interesse.

Um exemplo de realização do ensaio Pêndulo Britânico pode ser observado na Figura 15.

Figura 15: Exemplo de realização do ensaio Pêndulo Britânico



Fonte: Consulstrada.

Para a coleta de dados, deve-se realizar os seguintes procedimentos:

a) Escolha do local para a obtenção de dados, sendo três locais possíveis: o Trilho de Rodas Interno, o Centro de Faixa ou o Trilho de Rodas Externo;
b) Limpeza da área de interesse com o pincel para evitar interferências no ensaio;
c) Posicionamento do equipamento no sentido de rolagem do pneu;
d) Levantar e travar o pêndulo dinâmico; soltando-o em seguida, permitindo o contato do pêndulo com o solo. Um ponteiro de arrasto indica o valor de leitura do ensaio. A avaliação leva em conta que, quanto maior o atrito entre o pêndulo e a superfície de teste, mais o pêndulo perde energia e maior é o valor de leitura do equipamento;
e) Para a correta coleta de dados, são necessários cinco dados de cada ponto de estudo. É importante salientar que, caso seja notada uma discrepância no valor da primeira medida, esta pode ser descartada, pois está sob a influência de impurezas não retiradas na limpeza prévia.

Depois da coleta de dados, o tratamento das informações consiste em realizar média aritmética, segundo a fórmula abaixo:

$$Valor\ médio\ de\ leitura\ = \frac{Valor\ de\ cada\ leitura}{Número\ de\ leituras\ realizadas}$$

Para esse estudo, os dados serão tratados em planilha como o modelo apresentado na Figura 16.

Figura 16:Modelo de planilha do ensaio de Pêndulo Britânico

TRILHA DE RODA EXTERNA (TER) PONTO - 007

KM - 0+600				
Leitura	Leitura do Pêndulo (VRD)	Temperatura (ºC)	Correção da Leitura	VRD Corrigido
1ª				0
2ª				0
3ª				0
4ª				0
5ª				0
Valor Médio da Leitura			0	

CENTRO DA FAIXA DO PONTO - 007

KM - 0+600				
Leitura	Leitura do Pêndulo (VRD)	Temperatura (ºC)	Correção da Leitura	VRD Corrigido
1ª				0
2ª				0
3ª				0
4ª				0
5ª				0
Valor Médio da Leitura				

TRILHA DE RODA INTERNA (TEI) PONTO - 007

KM - 0+600				
Leitura	Leitura do Pêndulo (VRD)	Temperatura (ºC)	Correção da Leitura	VRD Corrigido
1ª				0
2ª				0
3ª				0
4ª				0
5ª				0
Valor Médio da Leitura			0	

Fonte: Própria.

Após essa apuração, o profissional é capaz de saber qual é a classe de resistência à derrapagem, de acordo com parâmetros tabelados do Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, DNIT, 2006, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Análise de Microtextura

CLASSES DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM / MÉTODO DO PÊNDULO BRITÂNICO	
CLASSES	VRD - VALOR DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM
1- PERIGOSA	< 25
2- MUITO LISA	35 -31
3- LISA	32 -39
4- INSUFICIENTEMENTE RUGOSA	40 - 46
5- MEDIANAMENTE RUGOSA	47 - 54
6- RUGOSA	55 - 75
7- MUITO RUGOSA	> 75

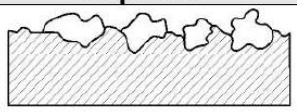
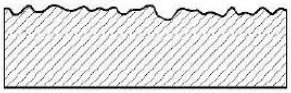
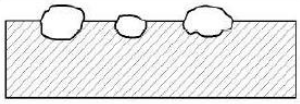
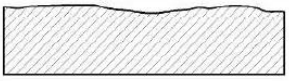
Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, DNIT, 2006, página 110. Adaptado.

2.6. TIPOS DE SUPERFÍCIES

A superfície do pavimento em termos de microtextura pode ser classificada por rugosa ou polida, sendo rugosa quando apresenta arestas vivas/irregulares e polida quando a superfície é lisa. Quanto a macrotextura, a superfície pode ser classificada por aberta ou fechada, sendo denominada aberta quando apresenta agregados graúdos e fechada quando possui elevada quantidade de finos.

Dessa forma, a superfície resultante avaliando conjuntamente as características de microtextura e macrotextura pode ser de quatro diferentes tipos: rugosa e aberta, rugosa e fechada, polida e aberta e, por fim, polida e fechada. Na Figura 17, pode-se observar todas as combinações possíveis e os tipos de superfícies resultantes.

Figura 17: Tipos de superfícies possíveis em função da microtextura e da macrotextura

Microtextura	Macrotextura	Superfície	Tipo de Textura
Rugosa	Aberta		Rugosa e Aberta
	Fechada		Rugosa e Fechada
Polida ou Lisa	Aberta		Polida e Aberta
	Fechada		Polida e Fechada

Fonte: APS, 2006.

2.7. *INTERNACIONAL FRICTION INDEX* (IFI)

Os valores de aderência, ou seja, macrotextura e microtextura podem ser quantificados por meio de um índice composto denominado IFI (*International Friction Index*). Esse índice foi desenvolvido a partir de uma experiência internacional de comparação e harmonização de métodos de medidas de textura e atrito dos pavimentos que foi conduzida no outono de 1992 sob a responsabilidade do Comitê de Características de Superfície da PIARC (*Permanent International Association of Road Congress*, atualmente denominada de *World Road Association*) ou AIPCR (*Association International Permanente des Congrèss de la Route*).

Atualmente, a utilização deste índice já se encontra normatizada por diversas normas mundiais, como a ASTM E 1960-98 *Standard Practice for Calculating Internacional Friction Index of a Pavement Surface*. Além disso, em DNIT (2006) já há recomendações de faixas aceitáveis de

resultados obtidos nos ensaios de mancha de areia e pêndulo britânico com referência a faixa de valores de IFI.

Para o cálculo do IFI, utiliza-se dois valores, sendo um relacionado às medidas de macrotextura e outro relacionado às medidas de atrito, por meio de microtextura. (APS, 2006). Então, para obter o valor de IFI, devem ser realizados os ensaios de Mancha de Areia e Pêndulo Britânico.

Os valores resultantes da análise realizada pelo método IFI são: o valor de atrito F_{60}, que indica o atrito provocado na superfície pneu-pavimento com o tráfego de veículos a uma velocidade de deslizamento de 60 km/h; o valor de SP, que indica a velocidade do coeficiente de atrito que sofre influência da macrotextura do pavimento (T_x). (GURGEL, 2019). Esses fatores podem ser calculados pelas fórmulas que se seguem:

$$SP = a + b \times Tx$$

Sendo "a" e "b" constantes dependentes do tipo de ensaio realizado, neste caso o Mancha de Areia. E "Tx" a altura da areia encontrada no ensaio, em milímetros. Para esse estudo, os valores adotados para as constantes estão dispostos na reescrita da fórmula abaixo, extraído da ASTM-965:

$$SP = -11{,}6 + 113{,}6 \times Tx$$

Encontrado o valor de SP, passa-se para o cálculo do fator de deslizamento a 60km/h, o FR_{60}, que é mensurado de acordo com o tipo de equipamento utilizado. Para o caso desse estudo, foi utilizado um equipamento estático, com sapata, intitulado *Pendulum Tester BPT USA*. A norma calibrou, para cada equipamento, parâmetros a serem considerados para traçar a curva de atrito para qual seja a velocidade estudada. Para o pêndulo norte-americano os parâmetros são: S, A, B e C valendo 10, 0,056, 0,008 e 0, respectivamente. Portanto, a fórmula fica:

$$FR_{60} = FRS \times EXP^{(\frac{S-60}{SP})}$$

E, por fim, de posse desses dois parâmetros, pode-se calcular o atrito harmonizado de referência:

$$F_{60} = A + B \times FR_{60} + C \times Tx$$

Por definição, os pares (F_{60}, SP) designam-se como sendo o *IFI* de um pavimento. Seu conhecimento permite traçar a curva de referência estimada de atrito *versus* velocidade de deslocamento. (APS, 2006).

De acordo com pesquisa em desenvolvimento no Brasil e apresentada no 17º Encontro de Asfalto em dezembro/2004 com o título de "Determinação do IFI – *International Friction Index*", foi proposta a seguinte classificação deste parâmetro, indicada na Tabela 3, para orientação dos estudos destas condições no Brasil, extraída do Manual de Restauração de Pavimentos.

Tabela 3: Valores do IFI

VALORES DO IFI		
VALORES	MÍNIMO	MÁXIMO
PÉSSIMO	< 0,06	
RUIM	0,06	0,12
REGULAR	0,13	0,16
BOM	0,2	0,3
ÓTIMO	> 0,30	

Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, DNIT, 2006, página 112. Adaptado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Após pesquisas iniciais sobre o tema, foi verificada a importância do tema a nível nacional. Além da relevância, também foi observada a gravidade dos acidentes ocorridos devido à defeitos no pavimento. E, ainda, a nível estadual, o Distrito Federal possui a 3ª maior população do país, chegando aos 3.094.325 habitantes em 2021, conforme estimou o IBGE. Ou seja, pesquisas relacionadas à segurança de pavimentos atingem muitas pessoas, já que a capital planejada exige o deslocamento, quase que sempre, de forma rodoviária.

O órgão DER-DF realiza, periodicamente, análises de segurança de pavimento com a realização dos ensaios Mancha de Areia e Pêndulo Britânico. A fim de aproximar a academia das necessidades de pesquisa e estudos da sociedade, esse trabalho foi desenvolvido em conjunto com o DER-DF para apresentar algumas dessas análises de segurança e sugerir atuações do órgão.

Conforme foi citado em capítulos anteriores, é necessária a realização dos dois grandes ensaios para majoração do índice IFI e, isso ocorreu no ano de 2021, conforme disponibilidade do órgão e menor fluxo de veículos nas vias, dada a pandemia da COVID-19.

Os materiais utilizados, assim como as rodovias escolhidas e a metodologia aplicada para obtenção dos resultados é apresentada a seguir.

3.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados nos ensaios são aqueles citados nos itens 2.4.1 e 2.5.1, a saber:

a) Caixa para impedir a incidência do vento sobre a amostra, com diâmetro mínimo de 50 cm x 50 cm;
b) Pincel para limpar a área a ser ensaiada;
c) Recipiente de volume conhecido (25.000 m³) preenchido com areia de granulometria padrão;
d) Um dispositivo próprio para o espalhamento da areia;
e) Régua graduada para relacionar o diâmetro da mancha com o volume de areia e a macrotextura do pavimento.
f) Pêndulo Britânico, medidor de aderência portátil;
g) Recipiente com água para molhar o pavimento no caso deste estar seco;

Os equipamentos do ensaio de Mancha de Areia são da marca SOLOTEST®, como pode ser observado na Figura 18.

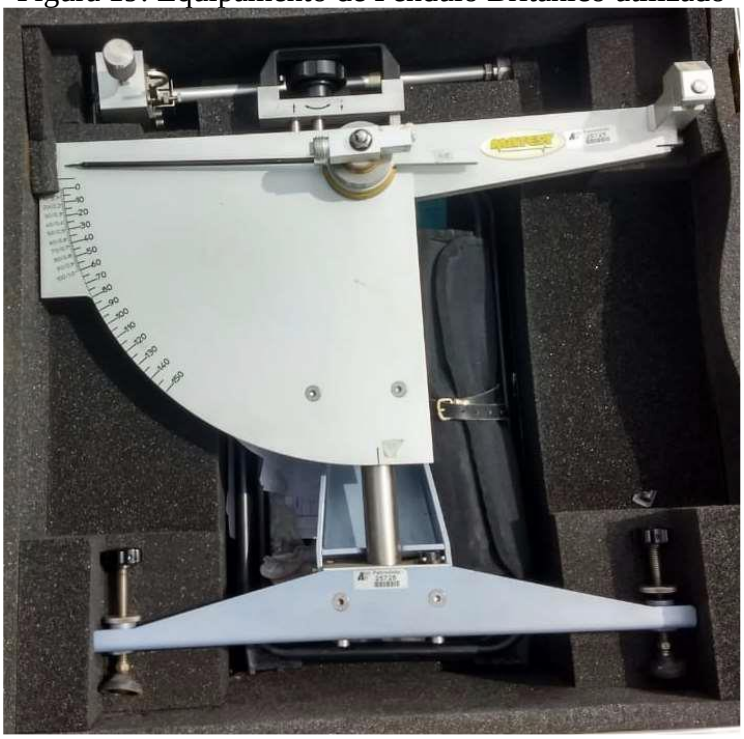
Figura 18: Conjunto de equipamentos de mancha de areia utilizados



Fonte: GURGEL, 2019.

Já o pêndulo utilizado neste estudo foi o Modelo A113 da marca italiana MATEST S.p.A TREVIOLO®, que pode ser observado na Figura 19.

Figura 19: Equipamento de Pêndulo Britânico utilizado



Fonte: GURGEL, 2019.

Além disso, foram utilizadas viaturas cedidas pelo DER-DF com todos os equipamentos necessários para o desvio do tráfego enquanto eram realizados os ensaios.

3.1.1. Dados

Os dados obtidos nos ensaios foram trabalhados na plataforma *Excel* e serão apresentados nos resultados dessa pesquisa. A coleta dos dados foi realizada em conjunto com colaboradores da área de laboratório do DER-DF, já o tratamento dos dados foi realizado na Universidade de Brasília, com os resultados cedidos ao órgão.

3.2. MÉTODOS

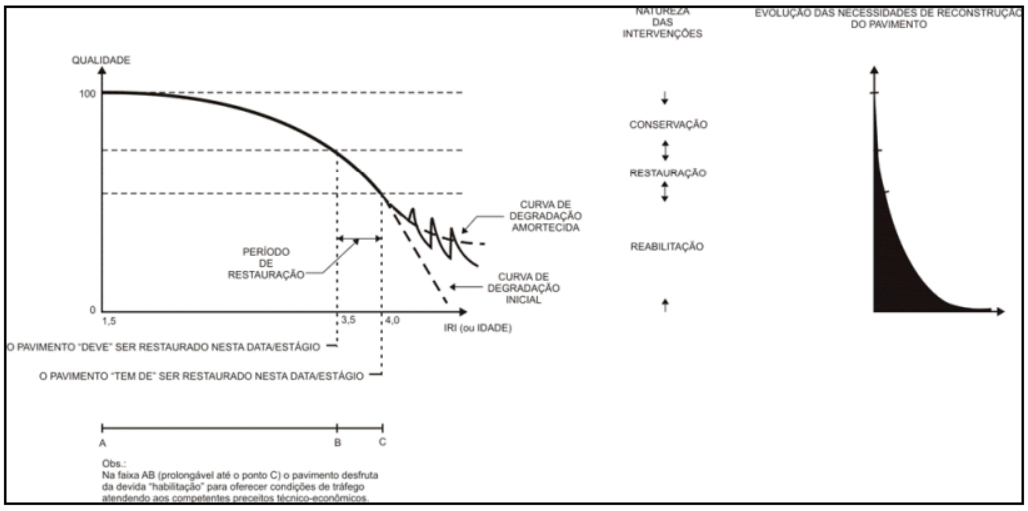
A metodologia utilizada no estudo foi apresentada pelo DER-DF, dada a expertise do órgão na área. E, posteriormente, foi verificada a forma de execução por meio da revisão bibliográfica

deste estudo. Inicialmente, foi feita a escolha das rodovias a serem estudadas e depois a análise dos resultados dos ensaios de campo.

3.2.1. Critério para escolha das rodovias

Para a escolha das rodovias, a proposta foi comparar pavimentos ditos novos, com até 5 anos de intervenção estrutural ou construção com pavimentos antigos, próximo ao prazo de execução de restauração, conforme a Figura 20. Isso para enfatizar a mudança de valores de acordo com o tempo de vida do pavimento, como propõe toda a bibliografia do tema.

Figura 20: Curva de degradação do pavimento



Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, DNIT, 2006, página 30.

Além disso, a pesquisa expandiu-se para diversos tipos de pavimento, contando com pavimentos rígidos e flexíveis. Os pavimentos rígidos estudaram limitaram-se às faixas exclusivas de corredor de ônibus por serem mais novas e de jurisdição do DER-DF.

Para os pavimentos flexíveis, houve a inserção de pavimentos que receberam o tratamento de recapeamento, que é a modalidade de intervenção, definida em Projeto de Engenharia específico relativamente à Restauração do Pavimento e/ou à Reabilitação do Pavimento, que

consiste na adequada sobreposição ao pavimento existente de uma ou mais camada(s) constituída(s) de mistura betuminosa e/ou concreto de cimento Portland. Tal sobreposição conferirá ao pavimento existente adequado aporte estrutural, mantendo-o assim apto a exercer, em continuidade, um novo ciclo de vida, de conformidade com as premissas técnico-econômicas (DNIT, 2006) e o tratamento de micro revestimento, que é uma camada fina de mistura asfáltica que atua como agente rejuvenescedor do pavimento, impermeabilizando a camada de revestimento pouco desgastada.

Depois da escolha das rodovias, a escolha dos pontos a ser estudados deu-se, primeiramente, em trechos retos, facilitando a visualização dos usuários e o trabalho de desvio dos funcionários do DER-DF. Foram evitados pontos de intersecção, entradas e saídas de grande movimentação e rotatórias, a fim de se preservar a segurança de todos os envolvidos nos ensaios e também para não causar engarrafamentos. Em suma, basicamente, o ensaio começou em pontos estratégicos, próximos a placas de quilometragem e em trechos retos.

Feito isso, foram feitas três medidas dos pontos de interesse (trilho de rodas interno, externo e centro de faixa) em um dos sentidos da via a cada trezentos metros, totalizando novecentos metros de resultados para um sentido. Após essas três medidas, o sentido da rodovia era invertido, repetindo-se a mesma metodologia de três aferições. Essa escolha foi tomada para que houvesse uma continuidade nos trechos estudados, já que é possível obter resultados diferentes em locais com distância relevante, dada a matriz da massa asfáltica.

Dadas essas especificações, as rodovias disponibilizadas para estudo pelo DER-DF foram:

Tabela 4: Rodovias estudadas

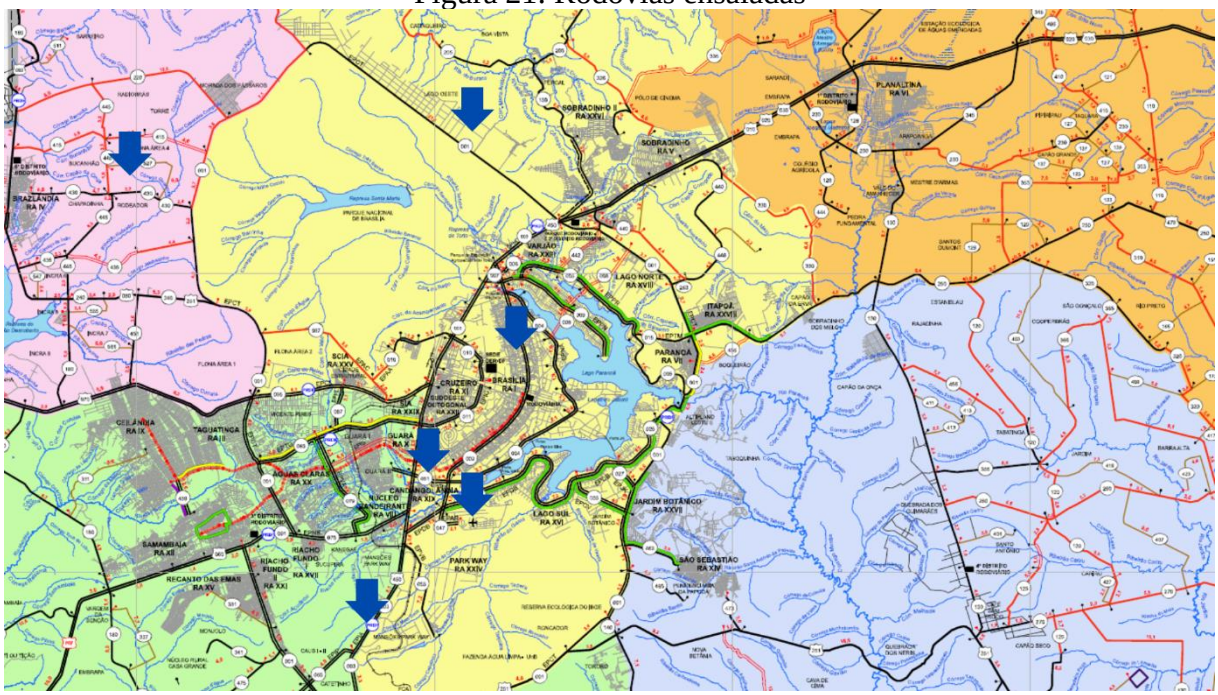
RODOVIAS ANALISADAS						
nº de ordem	rodovia	ponto de referência	tipo de pavimento	tipo de revestimento	classificação quanto à idade	nº de pontos analisados
1	DF-001	Sobradinho	flexível	concreto asfáltico	novo	13
2	DF-430	Brazlândia	flexível	concreto asfáltico	antigo	14
3	DF-002	Eixão Norte	flexível	microrrevestimento	novo	12
4	DF-047	BRT Aeroporto	rígido	placa de concreto simples com cimento portland	novo	8
5	DF-003	BRT gama	rígido	placa de concreto simples com cimento portland	antigo	11
6	DF-047	Sentido Gama	flexível	microrrevestimento	antigo	7

Fonte: Autoria própria.

Para o caso número 4, DF-047 do BRT do aeroporto, foram realizados 8 pontos de ensaio pela pequena extensão da rodovia, aproximadamente 1,2 quilômetros.

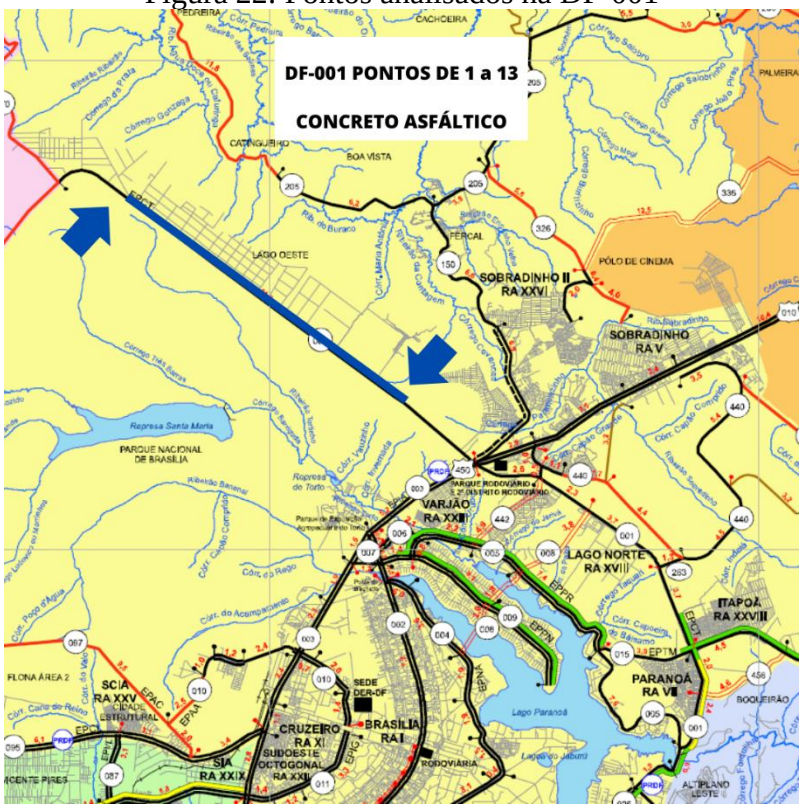
A título de visualização, as Figuras abaixo localizam as rodovias no mapa rodoviário do Distrito Federal.

Figura 21: Rodovias ensaiadas



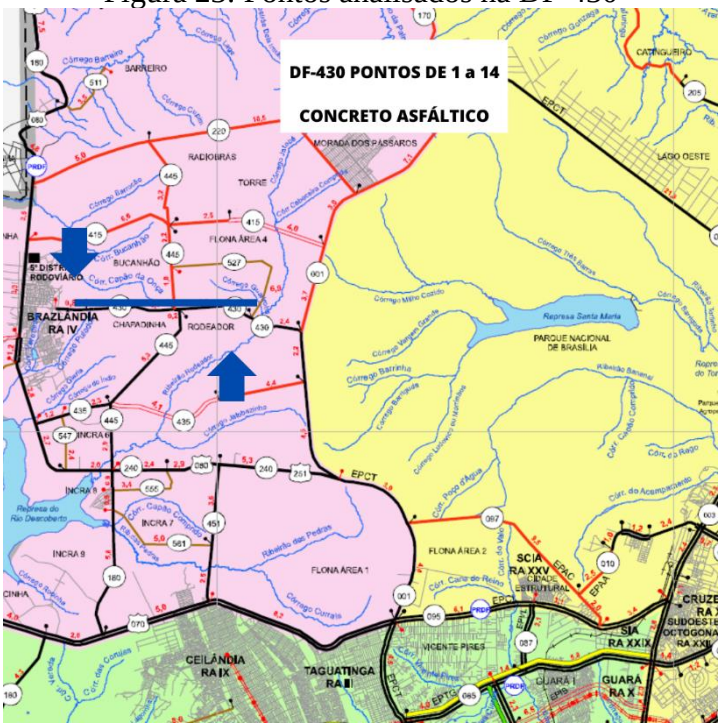
Fonte: DER-DF, modificado.

Figura 22: Pontos analisados na DF-001



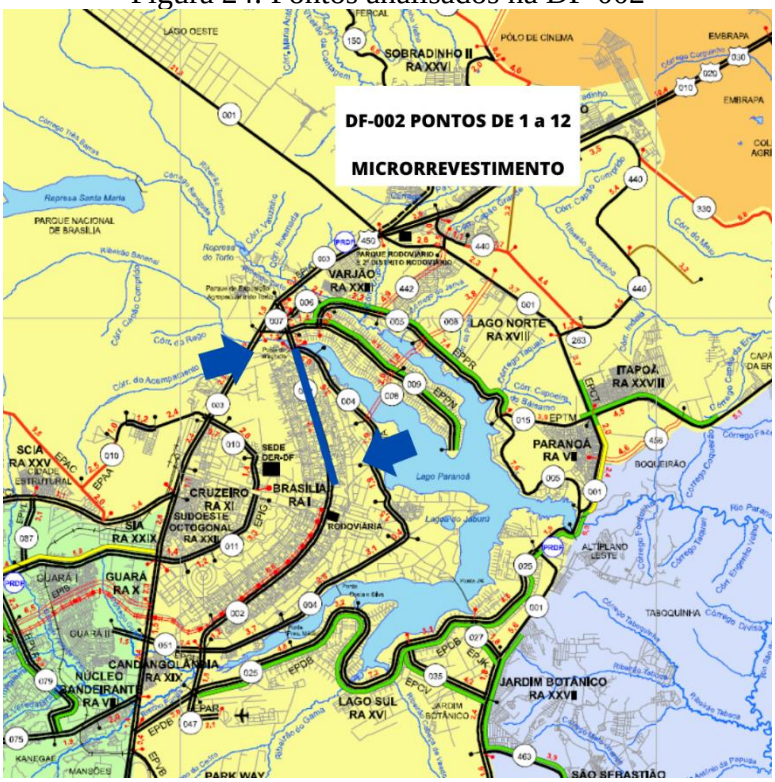
Fonte: DER-DF, modificado.

Figura 23: Pontos analisados na DF-430



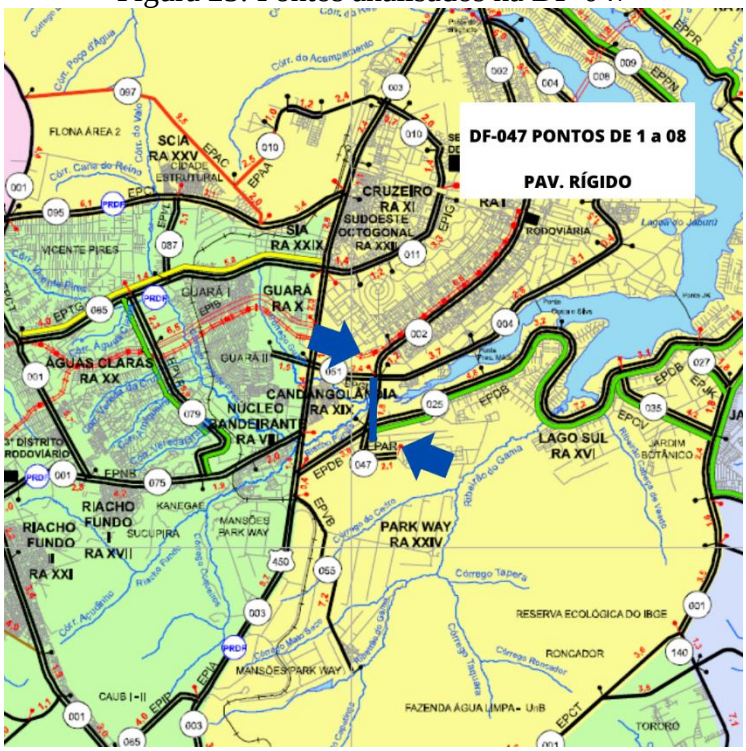
Fonte: DER-DF, modificado.

Figura 24: Pontos analisados na DF-002



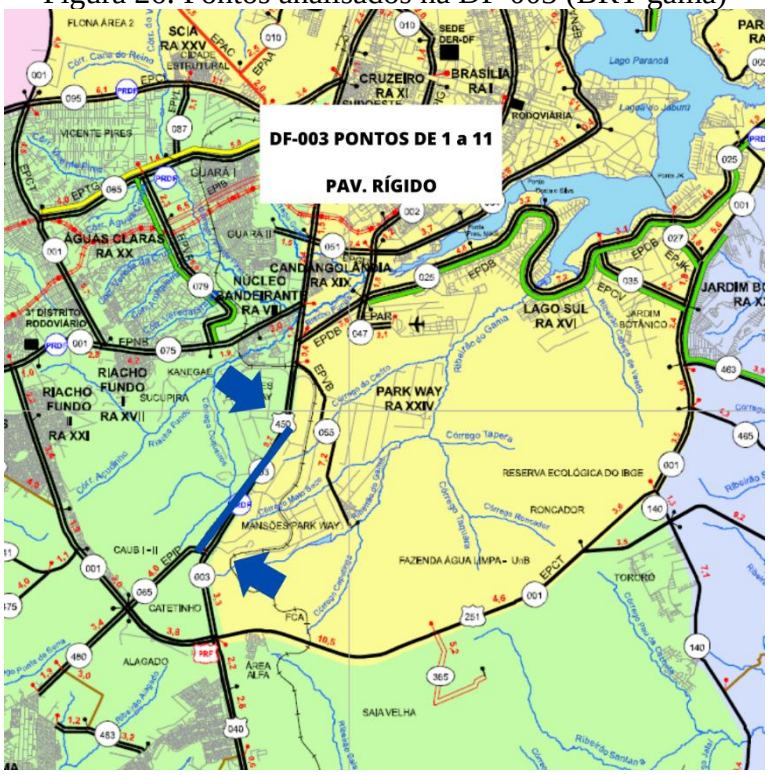
Fonte: DER-DF, modificado.

Figura 25: Pontos analisados na DF-047



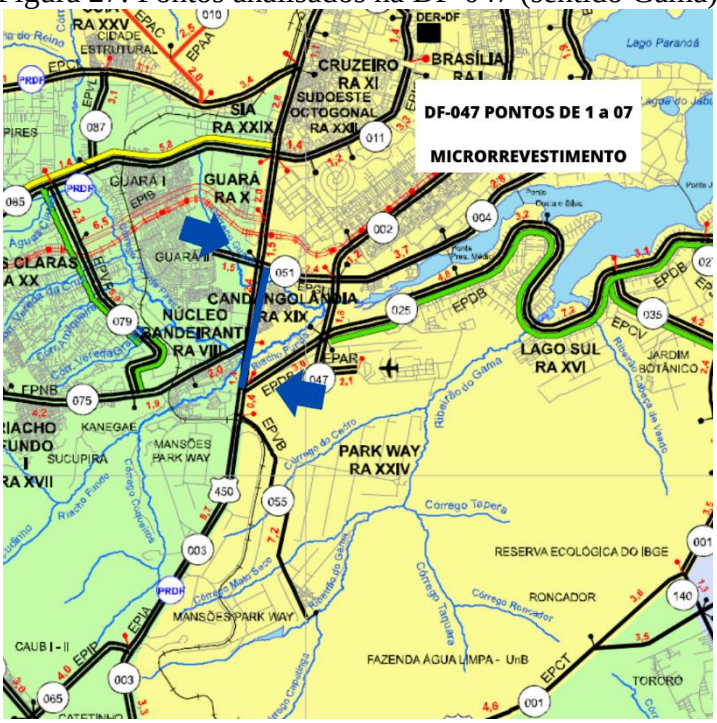
Fonte: DER-DF, modificado.

Figura 26: Pontos analisados na DF-003 (BRT gama)



Fonte: DER-DF, modificado.

Figura 27: Pontos analisados na DF-047 (sentido Gama)



Fonte: DER-DF, modificado.

3.2.2. Etapas para aquisição e tratamento dos dados do ensaio Mancha de Areia

Os procedimentos para execução do ensaio de mancha de areia podem ser observados no item 2.3.1 deste trabalho. No entanto, antes da execução do ensaio em si, foi necessária a preparação das amostras de areia graduada, para que estivessem de acordo com o que a norma exigia (areia uniforme cujos grãos passam pela peneira de abertura de 0,3 mm (#50) e ficam retidos na peneira com abertura de 0,15 mm (#100).

Para isso, adquiriu-se areia lavada fina e redonda e por meio das peneiras de abertura de 0,3 mm (#50) e de abertura de 0,15 mm (#100), foi possível separar o material passante na peneira #50 e retida na peneira #100. A Figura abaixo exemplifica os tipos de peneiras utilizadas.

Figura 28: peneiras granulométricas



Fonte: MHS – *Materials Handling Systems*

Após a execução do ensaio, é possível calcular o valor da profundidade de textura de cada ponto ensaiado e o valor de profundidade média de todo o trecho em questão. O manual do DNIT (2009) sugere que sejam considerados aceitáveis valores de profundidade de areia média entre 0,6 mm e 1,2 mm. Desta forma, este trabalho seguiu esta recomendação e propôs medidas corretivas para trechos em desacordo com este intervalo de referência.

3.2.3. Etapas para aquisição e tratamento dos dados do ensaio Pêndulo Britânico

Assim como no ensaio de mancha de areia, os procedimentos para execução do ensaio de Pêndulo Britânico podem ser observados no item 2.5.1 deste trabalho. Após a execução do ensaio, é possível calcular o valor médio de resistência à derrapagem de cada ponto ensaiado e o valor médio de todo o trecho em questão.

Por fim, a metodologia dos ensaios seguiu o seguinte fluxo:

a) Escolha das vias;
b) Preparação para os ensaios;
c) Execução dos ensaios nos termos acordados;
d) Análise dos resultados;
e) Propostas de intervenção.

4. RESULTADOS

Após a realização dos ensaios, os dados foram tratados e serão apresentados neste tópico de forma individual, por tipo de ensaio e rodovia, assim como serão agrupados por tipo de revestimento ou tratamento, a fim de se comparar e analisar o efeito da idade do pavimento nos fatores de segurança.

É importante frisar que foram utilizados os mesmos ensaios e parâmetros para os três tipos de pavimento estudados. O estudo decorreu-se dessa forma pelo histórico de paridade entre as avaliações de segurança de pavimentos rígidos e de flexíveis.

4.1. RESULTADOS DA DF-001

4.1.1. Avaliação da Macrotextura da DF-001

A DF-001, neste estudo, foi considerada uma rodovia com baixo tempo de intervenção, sendo considerada um pavimento novo. Seu tipo de revestimento é em concreto asfáltico e a velocidade da via varia entre 80 km/h e 100 km/h em alguns trechos. Os 13 pontos analisados nesta rodovia estão dispostos abaixo para o ensaio Mancha de Areia. São apresentados os valores médios de cada medição, a fim de analisar seus resultados.

Tabela 5: Resultados de Macrotextura no concreto asfáltico para a rodovia DF-001

MANCHA DE AREIA						
PONTO	VALOR MÉDIO DA ALTURA DA AREIA (mm)			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	0,62	0,66	0,64	Média	Média	Média
2	0,39	0,53	0,40	Fina ou Fechada	Média	Fina ou Fechada
3	0,46	0,61	0,45	Média	Média	Média
4	0,44	0,63	0,62	Média	Média	Média
5	0,38	0,55	0,39	Fina ou Fechada	Média	Fina ou Fechada
6	0,40	0,49	0,39	Fina ou Fechada	Média	Fina ou Fechada
7	0,57	0,64	0,43	Média	Média	Média
8	0,57	0,65	0,57	Média	Média	Média
9	0,48	0,73	0,74	Média	Média	Média
10	0,48	1,01	0,57	Média	Grosseira ou Aberta	Média
11	0,46	0,64	0,53	Média	Média	Média
12	0,60	0,60	0,63	Média	Média	Média
13	0,59	0,37	0,42	Média	Fina ou Fechada	Média

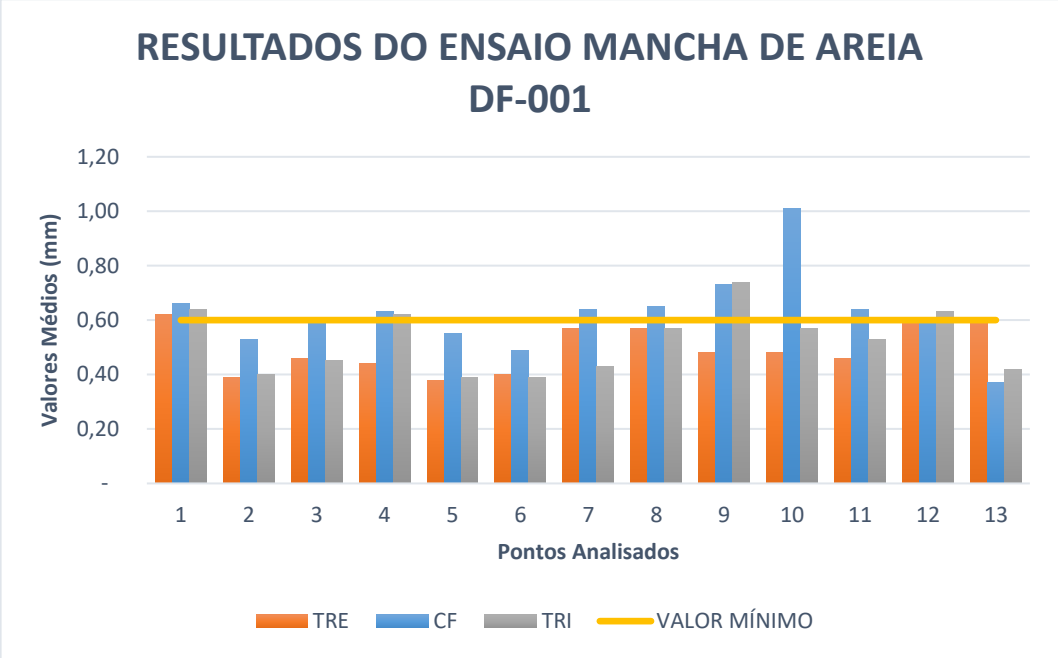
Fonte: Própria.

De acordo com os resultados obtidos, os pontos analisados, em geral, possuem textura média, ou seja, variam de altura no intervalo de 0,40 mm a 0,80 mm, conforme pode ser melhor visualizado no Gráfico 1, em que o eixo das ordenadas representa os valores médios dos três pontos de interesse de cada análise, e o eixo das abscissas apresenta as 13 medições realizadas.

Apesar da apresentação uniforme dos resultados, eles, ao todo, encontram-se no limite negativo do valor mínimo adotado como referência, de 0,60 mm. Esse resultado indica, a princípio que, mesmo uma rodovia considerada nova, os valores de macrotextura não estão de acordo com a aderência pneu-pavimento mínima para velocidades médias ou altas, podendo dificultar escoamento de águas superficiais e facilitar a derrapagem dos veículos.

É interessante analisar, também, que o centro de faixa quase sempre possui valores médios acima daqueles encontrados nas trilhas de roda, evidenciando a ação do tráfego sobre a mistura asfáltica.

Gráfico 1: Resultados do ensaio Mancha de Areia no concreto asfáltico da DF-001



Fonte: Própria.

4.1.2. Avaliação da Microtextura da DF-001

Os valores médios encontrados para o ensaio do Pêndulo Britânico são apresentados a seguir:

Tabela 6: Resultados de Microtextura no concreto asfáltico da rodovia DF-001

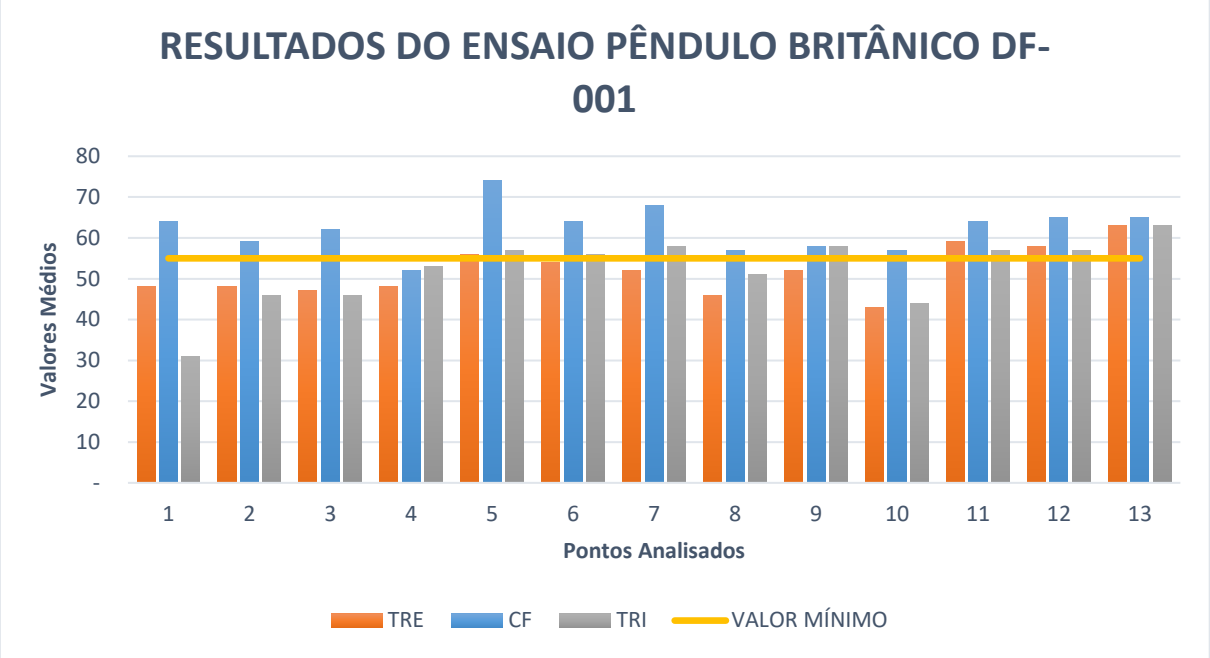
PÊNDULO BRITÂNICO						
PONTO	VALOR MÉDIO			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	48	64	31	Medianamente Rugosa	Rugosa	Muito Lisa
2	48	59	46	Medianamente Rugosa	Rugosa	Insuficientemente Rugosa
3	47	62	46	Medianamente Rugosa	Rugosa	Insuficientemente Rugosa
4	48	52	53	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa
5	56	74	57	Rugosa	Rugosa	Rugosa
6	54	64	56	Medianamente Rugosa	Rugosa	Rugosa
7	52	68	58	Medianamente Rugosa	Rugosa	Rugosa
8	46	57	51	Insuficientemente Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa
9	52	58	58	Medianamente Rugosa	Rugosa	Rugosa
10	43	57	44	Insuficientemente Rugosa	Rugosa	Insuficientemente Rugosa
11	59	64	57	Rugosa	Rugosa	Rugosa
12	58	65	57	Rugosa	Rugosa	Rugosa
13	63	65	63	Rugosa	Rugosa	Rugosa

Fonte: Própria.

Para os resultados do ensaio de atrito, foram obtidas diversas classes de textura, com predominância da rugosa. No Gráfico 2 podem ser melhor analisados os valores de cada ponto.

No gráfico, é possível inferir que os maiores valores de atrito ocorrem no centro de faixa. Também é visível a insuficiência da via em atingir o valor médio mínimo, um VRD de 55. Apesar de os valores encontrarem-se próximos da linha de referência, esperava-se que os pontos analisados superassem, em sua maioria, o valor de 55 dada a idade do pavimento.

Gráfico 2: Resultados do ensaio Pêndulo Britânico na DF-001



Fonte: Própria.

4.1.3. Cálculo do IFI para a DF-001

Os valores do IFI estão dispostos abaixo, assim como a sua classificação.

Tabela 7 Cálculo do IFI para a DF-001

CÁLCULO DO IFI												
PONTO	SP			FR60			IFI (F60)			RESULTADO		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	58,83	63,38	61,10	20,52	29,08	13,68	0,22	0,29	0,17	Bom	Bom	Bom
2	32,70	48,61	33,84	10,41	21,09	10,50	0,14	0,22	0,14	Regular	Bom	Regular
3	40,66	57,70	39,52	13,74	26,06	12,98	0,17	0,26	0,16	Bom	Bom	Regular
4	38,38	59,97	58,83	13,05	22,59	22,66	0,16	0,24	0,24	Bom	Bom	Bom
5	31,57	50,88	32,70	11,49	27,70	12,36	0,15	0,28	0,15	Regular	Bom	Regular
6	33,84	44,06	32,70	12,32	20,58	12,14	0,15	0,22	0,15	Regular	Bom	Regular
7	53,15	61,10	37,25	20,30	30,00	15,15	0,22	0,30	0,18	Bom	Bom	Bom
8	53,15	62,24	53,15	17,96	25,53	19,91	0,20	0,26	0,22	Bom	Bom	Bom
9	42,93	71,33	72,46	16,22	28,77	29,09	0,19	0,29	0,29	Bom	Bom	Bom
10	42,93	103,14	53,15	13,42	35,10	17,18	0,16	0,34	0,19	Bom	Ótima	Bom
11	40,66	61,10	48,61	17,25	28,24	20,38	0,19	0,28	0,22	Bom	Bom	Bom
12	56,56	56,56	59,97	23,96	26,85	24,76	0,25	0,27	0,25	Bom	Bom	Bom
13	55,42	30,43	36,11	25,56	12,57	15,78	0,26	0,16	0,18	Bom	Regular	Bom

Fonte: Própria.

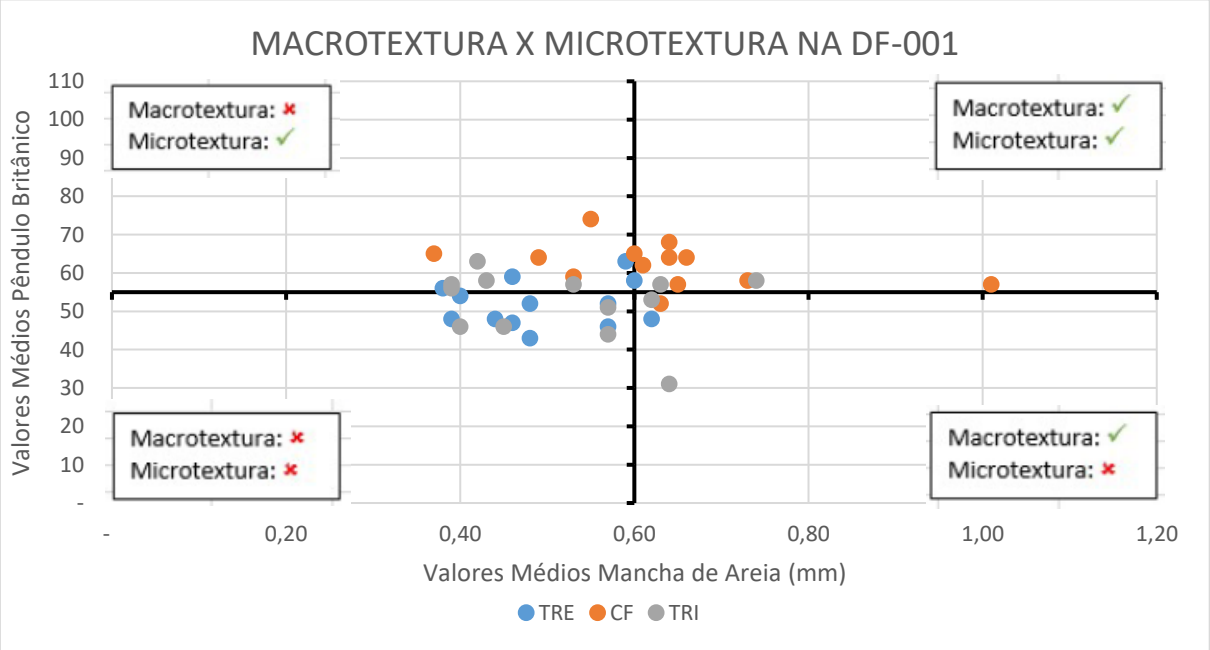
4.1.4. Possíveis intervenções na DF-001

Dado os valores apresentados para a Macrotextura e a Microtextura, foi desenvolvido um gráfico para melhor visualização da situação da rodovia.

É visível que a rodovia estudada se apresenta, de modo geral, no limite dos valores mínimos para os dois ensaios realizados, com os dados apontando para uma piora significativa do índice de segurança do pavimento nos próximos anos, dada a forte presença de resultados nos dois quadrantes do lado esquerdo, sinalizando problemas, principalmente, na macrotextura do pavimento. Também é notório o desgaste do pavimento pela apresentação dos dados do Centro de Faixa em posição sempre superior ao das trilhas de roda, indicando a sobrecarga que o tráfego está causando na estrutura.

Para fins de melhoria do pavimento, recomenda-se microfresagem como solução, já que é uma medida que visa melhorar apenas a macrotextura do pavimento, de forma a aumentar os vazios entre o conjunto agregado agregados-mástique, enquanto não altera as características mineralógicas dos agregados, que afetam a microtextura do pavimento.

Gráfico 3: Macrotextura X Microtextura na DF-001



Fonte: Própria.

4.2. RESULTADOS DA DF-430

A DF-430, neste estudo, foi considerada uma rodovia com antigo período de intervenção, sendo considerada um pavimento antigo. Seu tipo de revestimento é em concreto asfáltico e a velocidade da via varia entre 60 km/h e 80 km/h em alguns trechos, devido a alguns aclives e declives acentuados. Os resultados dos ensaios seguem abaixo.

4.2.1. Avaliação da Macrotextura da DF-430

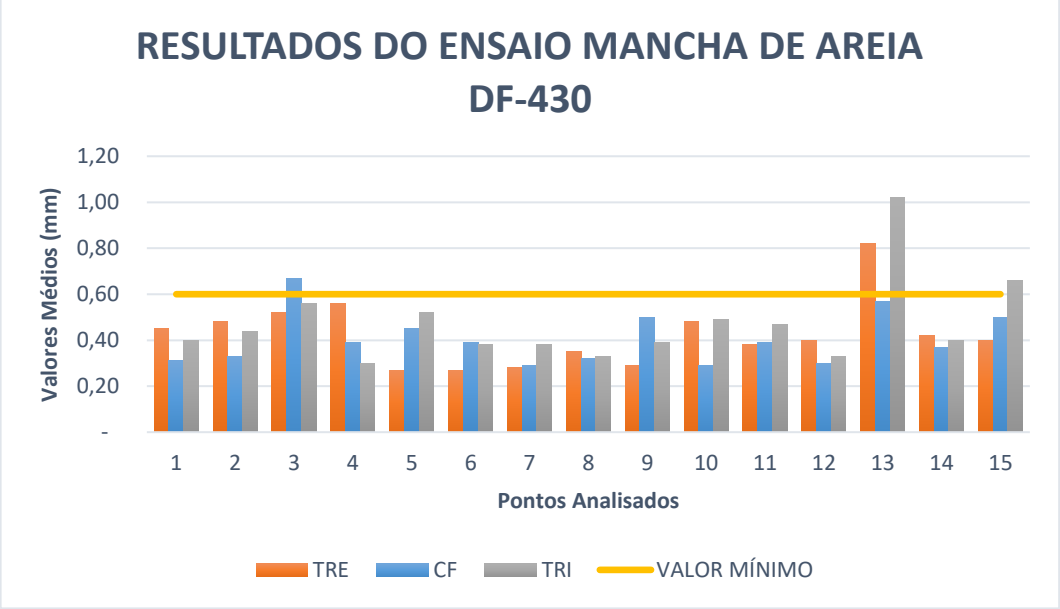
Os resultados obtidos para o parâmetro de macrotextura da DF-430 mostraram-se compatíveis com um pavimento desgastado e com agregados polidos. Conforme apresenta a Tabela abaixo, boa parte das texturas obtidas pode ser considerada como fina ou fechada, com valores bem inferiores ao mínimo considerado.

Tabela 8: Resultados de Macrotextura no concreto asfáltico na rodovia DF-430

MANCHA DE AREIA						
PONTO	VALOR MÉDIO DA ALTURA DA AREIA (mm)			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	0,45	0,31	0,40	Média	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada
2	0,48	0,33	0,44	Média	Fina ou Fechada	Média
3	0,52	0,67	0,56	Média	Média	Média
4	0,56	0,39	0,30	Média	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada
5	0,27	0,45	0,52	Fina ou Fechada	Média	Média
6	0,27	0,39	0,38	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada
7	0,28	0,29	0,38	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada
8	0,35	0,32	0,33	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada
9	0,29	0,50	0,39	Fina ou Fechada	Média	Fina ou Fechada
10	0,48	0,29	0,49	Média	Fina ou Fechada	Média
11	0,38	0,39	0,47	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada	Média
12	0,40	0,30	0,33	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada
13	0,82	0,57	1,02	Grosseira ou Aberta	Média	Grosseira ou Aberta
14	0,42	0,37	0,40	Média	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada
15	0,40	0,50	0,66	Fina ou Fechada	Média	Média

Fonte: Própria.

Gráfico 4: Resultados do ensaio Mancha de Areia no concreto asfáltico da DF-430



Fonte: Própria.

Para a análise de macrotextura da DF-430, é notável como a idade do pavimento afetou a mistura asfáltica como um todo, apresentando resultados uniformes para os pontos analisados. A distorção de valores encontrada no Centro de Faixa, normalmente observada em pavimentos novos, não é tão evidente.

4.2.2. Avaliação da Microtextura da DF-430

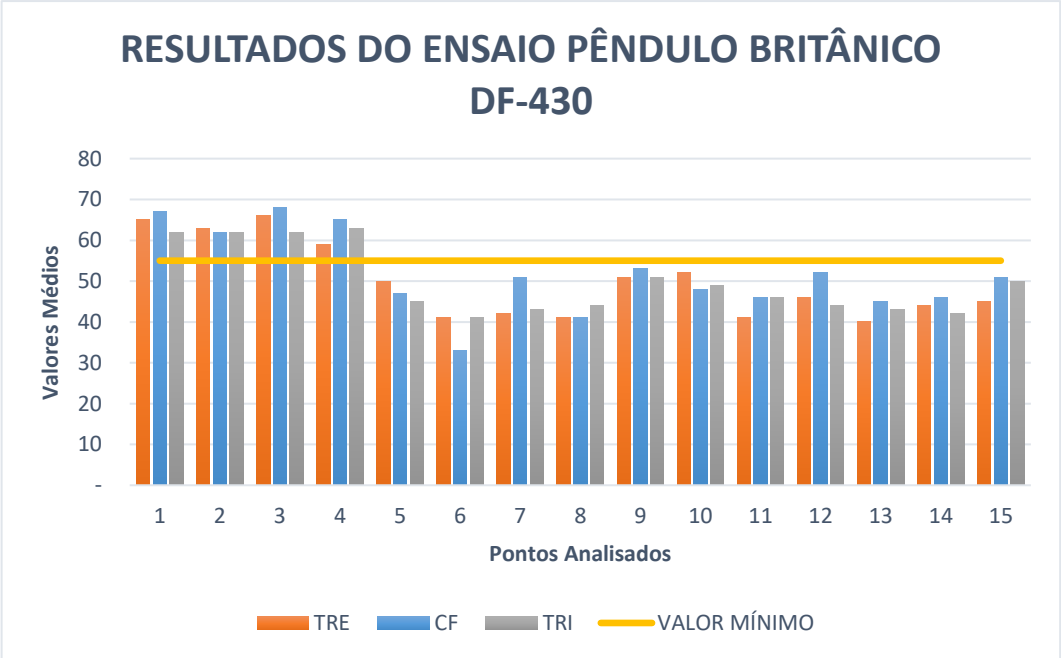
Os dados relacionados à Microtextura da DF-430 são apresentados na Tabela e Gráfico abaixo.

Tabela 9: Resultados de Microtextura no concreto asfáltico da rodovia DF-430

PÊNDULO BRITÂNICO						
PONTO	VALOR MÉDIO			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	65	67	62	Rugosa	Rugosa	Rugosa
2	63	62	62	Rugosa	Rugosa	Rugosa
3	66	68	62	Rugosa	Rugosa	Rugosa
4	59	65	63	Rugosa	Rugosa	Rugosa
5	50	47	45	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	Insuficientemente Rugosa
6	41	33	41	Insuficientemente Rugosa	Lisa	Insuficientemente Rugosa
7	42	51	43	Insuficientemente Rugosa	Medianamente Rugosa	Insuficientemente Rugosa
8	41	41	44	Insuficientemente Rugosa	Insuficientemente Rugosa	Insuficientemente Rugosa
9	51	53	51	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa
10	52	48	49	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa
11	41	46	46	Insuficientemente Rugosa	Insuficientemente Rugosa	Insuficientemente Rugosa
12	46	52	44	Insuficientemente Rugosa	Medianamente Rugosa	Insuficientemente Rugosa
13	40	45	43	Insuficientemente Rugosa	Insuficientemente Rugosa	Insuficientemente Rugosa
14	44	46	42	Insuficientemente Rugosa	Insuficientemente Rugosa	Insuficientemente Rugosa
15	45	51	50	Insuficientemente Rugosa	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa

Fonte: Própria.

Gráfico 5: Resultados do ensaio Pêndulo Britânico no concreto asfáltico da DF-430



Fonte: Própria.

Na análise do ensaio do Pêndulo Britânico na DF-430, foram notadas duas seções de avaliação diferentes. Os primeiros quatro pontos apresentaram resultados uniformes entre si, caracterizando uma seção diferente do restante que foi estudada. Tomando esses pontos como disformes da percepção de resultados visualizada na rodovia, observa-se um pavimento gasto, polido e que não fornece o atrito pneu-pavimento devido para garantir a frenagem em situações de chuva. São necessários mais estudos no histórico de intervenções desse pavimento para analisar os quatro primeiros pontos.

4.2.3. Cálculo do IFI para a DF-430

Os valores do IFI estão dispostos abaixo, assim como a sua classificação.

Tabela 10: Cálculo do IFI para a DF-430

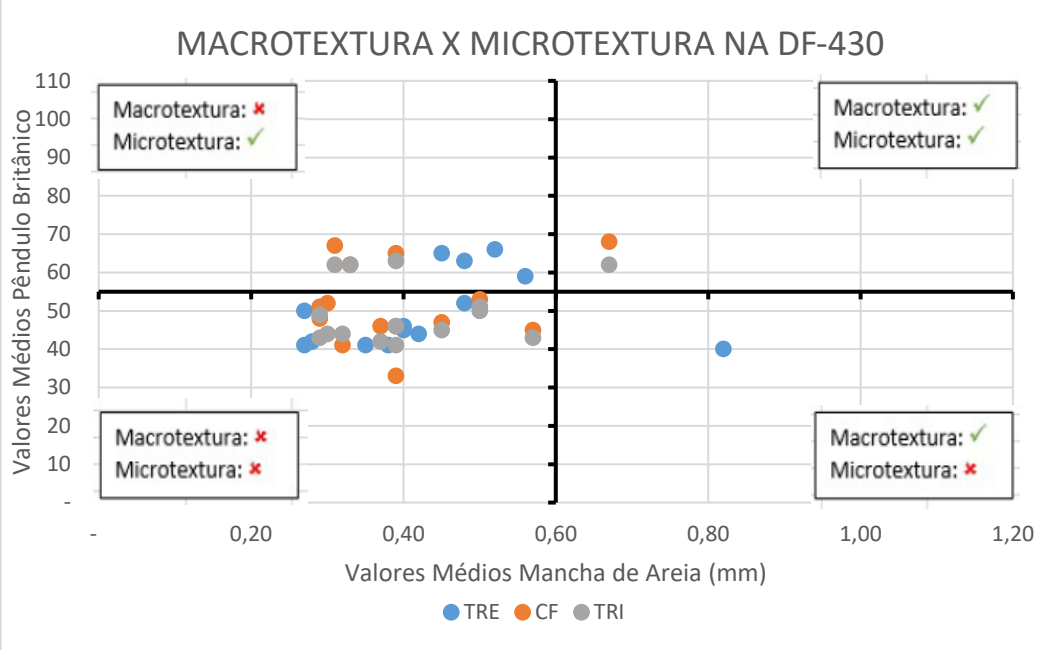
CÁLCULO DO IFI												
PONTO	SP			FR60			IFI (F60)			RESULTADO		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	39,52	23,62	33,84	18,34	8,06	14,15	0,20	0,12	0,17	Bom	Ruim	Bom
2	42,93	25,89	38,38	19,66	8,99	16,85	0,21	0,13	0,19	Bom	Regular	Bom
3	47,47	64,51	52,02	23,02	31,33	23,71	0,24	0,31	0,25	Bom	Ótima	Bom
4	52,02	32,70	22,48	22,56	14,09	6,81	0,24	0,17	0,11	Bom	Bom	Ruim
5	19,07	39,52	47,47	3,63	13,26	15,70	0,09	0,16	0,18	Ruim	Bom	Bom
6	19,07	32,70	31,57	2,98	7,15	8,41	0,08	0,11	0,12	Ruim	Ruim	Ruim
7	20,21	21,34	31,57	3,54	4,90	8,82	0,08	0,10	0,13	Ruim	Ruim	Regular
8	28,16	24,75	25,89	6,94	5,44	6,38	0,11	0,10	0,11	Ruim	Ruim	Ruim
9	21,34	45,20	32,70	4,90	17,53	11,06	0,10	0,20	0,14	Ruim	Bom	Regular
10	42,93	21,34	44,06	16,22	4,61	15,75	0,19	0,09	0,18	Bom	Ruim	Bom
11	31,57	32,70	41,79	8,41	9,97	13,90	0,12	0,14	0,17	Ruim	Regular	Bom
12	33,84	22,48	25,89	10,50	5,62	6,38	0,14	0,10	0,11	Regular	Ruim	Ruim
13	81,55	53,15	104,27	21,67	17,57	26,62	0,23	0,20	0,27	Bom	Bom	Bom
14	36,11	30,43	33,84	11,02	8,90	9,58	0,14	0,13	0,13	Regular	Regular	Regular
15	33,84	45,20	63,38	10,27	16,87	22,72	0,14	0,19	0,24	Regular	Bom	Bom

Fonte: Própria.

4.2.4. Possíveis intervenções na DF-430

Dado os valores apresentados para a Macrotextura e a Microtextura, foi desenvolvido um gráfico para melhor visualização da situação da rodovia.

Gráfico 6: Macrotextura X Microtextura na DF-430



Fonte: Própria.

Como já foi abordado, os valores de macrotextura apresentaram resultados não satisfatórios e, em relação à microtextura, o pavimento apresenta grandes problemas, com apenas alguns pontos próximo ao valor mínimo de segurança. Posto isso e com as informações apresentadas para rejuvenescimento e melhora da mecânica dos pavimentos, é aconselhado que seja realizado um tratamento com microrrevestimento nessa rodovia, para que os parâmetros analisados obtenham resultados melhores. A intervenção é suficiente dada a boa estrutura do pavimento existente.

4.3. RESULTADOS DA DF-002

A DF-002, popularmente conhecida como “eixão” pelos brasilienses passou, recentemente por um tratamento de microrrevestimento no pavimento. Nesse estudo ela será considerada como

uma rodovia de pavimento novo. Os resultados são apresentados a seguir, dispostos em 12 pontos.

4.3.1. Avaliação da Macrotextura da DF-002

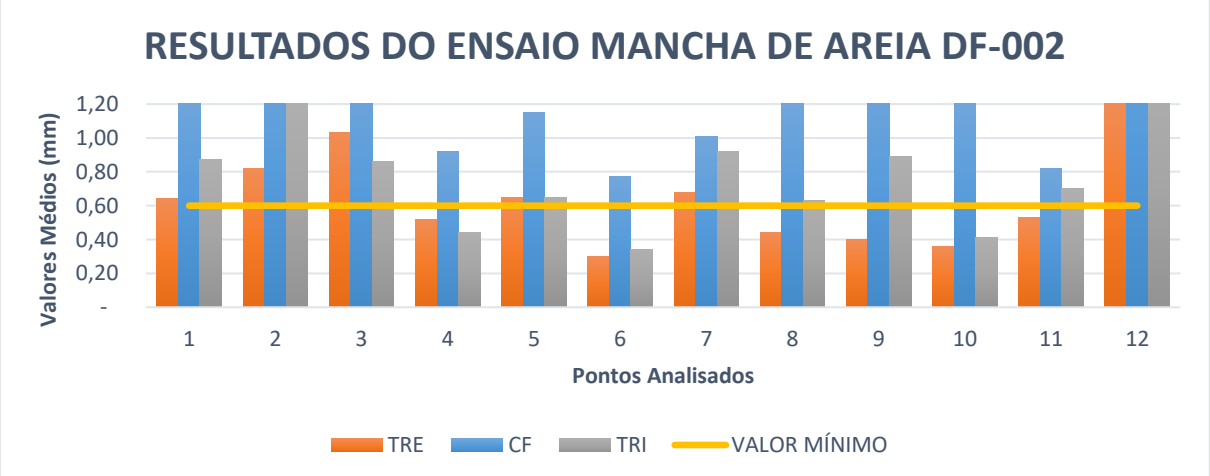
Os dados relacionados à Macrotextura da DF-002 são apresentados na Tabela e Gráfico abaixo.

Tabela 11: Resultados de Macrotextura para o microrrevestimento da rodovia DF-002

MANCHA DE AREIA						
PONTO	VALOR MÉDIO DA ALTURA DA AREIA (mm)			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	0,64	1,29	0,87	Média	Muito Grosseira ou Muito Aberta	Grosseira ou Aberta
2	0,82	1,57	1,21	Grosseira ou Aberta	Muito Grosseira ou Muito Aberta	Muito Grosseira ou Muito Aberta
3	1,03	1,37	0,86	Grosseira ou Aberta	Muito Grosseira ou Muito Aberta	Grosseira ou Aberta
4	0,52	0,92	0,44	Média	Grosseira ou Aberta	Média
5	0,65	1,15	0,65	Média	Grosseira ou Aberta	Média
6	0,30	0,77	0,34	Fina ou Fechada	Média	Fina ou Fechada
7	0,68	1,01	0,92	Média	Grosseira ou Aberta	Grosseira ou Aberta
8	0,44	1,22	0,63	Média	Muito Grosseira ou Muito Aberta	Média
9	0,40	1,37	0,89	Fina ou Fechada	Muito Grosseira ou Muito Aberta	Grosseira ou Aberta
10	0,36	1,23	0,41	Fina ou Fechada	Muito Grosseira ou Muito Aberta	Média
11	0,53	0,82	0,70	Média	Grosseira ou Aberta	Média
12	1,22	2,01	1,47	Muito Grosseira ou Muito Aberta	Muito Grosseira ou Muito Aberta	Muito Grosseira ou Muito Aberta

Fonte: Própria.

Gráfico 7: Resultados do ensaio Mancha de Areia no microrrevestimento da DF-002



Fonte: Própria.

Novamente, para um pavimento rígido, foi observado que os valores da Macrotextura não se mostraram acima do mínimo como um todo. O Centro de Faixa apresentou melhores resultados por receber menos ação do tráfego comparado às trilhas de roda. É possível inferir uma grande diversidade de texturas nas trilhas de roda em comparação com o centro de faixa, que apresentou textura grosseira.

4.3.2. Avaliação da Microtextura da DF-002

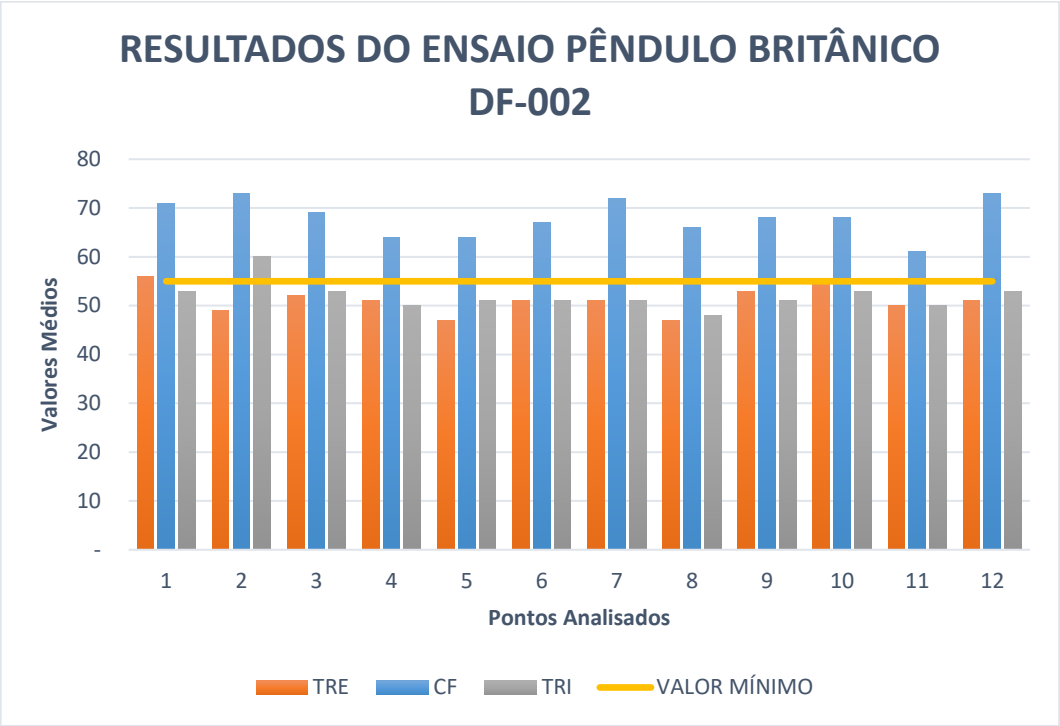
Os dados relacionados à Microtextura da DF-002 são apresentados na Tabela e Gráfico abaixo.

Tabela 12: Resultados de Microtextura para o microrrevestimento da rodovia DF-002

PÊNDULO BRITÂNICO						
PONTO	VALOR MÉDIO			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	56	71	53	Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa
2	49	73	60	Medianamente Rugosa	Rugosa	Rugosa
3	52	69	53	Medianamente Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa
4	51	64	50	Medianamente Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa
5	47	64	51	Medianamente Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa
6	51	67	51	Medianamente Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa
7	51	72	51	Medianamente Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa
8	47	66	48	Medianamente Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa
9	53	68	51	Medianamente Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa
10	55	68	53	Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa
11	50	61	50	Medianamente Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa
12	51	73	53	Medianamente Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa

Fonte: Própria.

Gráfico 8: Resultados do ensaio Pêndulo Britânico no microrrevestimento da DF-002



Fonte: Própria.

Diferente da dispersão encontrada nos resultados de Macrotextura, a Microtextura apresentou valores uniformes e coesos. Os valores do Centro de Faixa continuam sendo os mais altos pela menor ação do tráfego, já o baixo valor generalizado para o Trilho de Rodas Externo pode ser explicado pelo método executivo do Microrrevestimento, que consiste em uma fina camada de material asfáltico, o que gera, nas bordas da pista de rolamento, menores espessuras, com isso, há um maior desgaste do material ali encontrado.

4.3.3. Cálculo do IFI para a DF-002

Os valores do IFI estão dispostos abaixo, assim como a sua classificação.

Tabela 13: Cálculo do IFI para a DF-002

CÁLCULO DO IFI											
PONTO	SP			FR60		IFI (F60)			RESULTADO		
	T.R.E	C.F	T.R.I	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	61,10	134,94	87,23	49,02	29,88	0,25	0,45	0,30	Bom	Ótima	Bom
2	81,55	166,75	125,86	54,09	40,33	0,27	0,49	0,38	Bom	Ótima	Ótima
3	105,41	144,03	86,10	48,76	29,65	0,31	0,45	0,29	Ótima	Ótima	Bom
4	47,47	92,91	38,38	37,37	13,59	0,20	0,35	0,16	Bom	Ótima	Bom
5	62,24	119,04	62,24	42,05	22,84	0,22	0,39	0,24	Bom	Ótima	Bom
6	22,48	75,87	27,02	34,66	8,02	0,10	0,33	0,12	Ruim	Ótima	Ruim
7	65,65	103,14	92,91	44,34	29,78	0,25	0,41	0,29	Bom	Ótima	Bom
8	38,38	126,99	59,97	44,52	20,85	0,16	0,41	0,22	Regular	Ótima	Bom
9	33,84	144,03	89,50	48,06	29,17	0,15	0,44	0,29	Regular	Ótima	Bom
10	29,30	128,13	34,98	46,03	12,69	0,14	0,42	0,16	Regular	Ótima	Regular
11	48,61	81,55	67,92	33,04	23,95	0,20	0,32	0,25	Bom	Ótima	Bom
12	126,99	216,74	155,39	57,96	38,42	0,33	0,52	0,36	Ótima	Ótima	Ótima

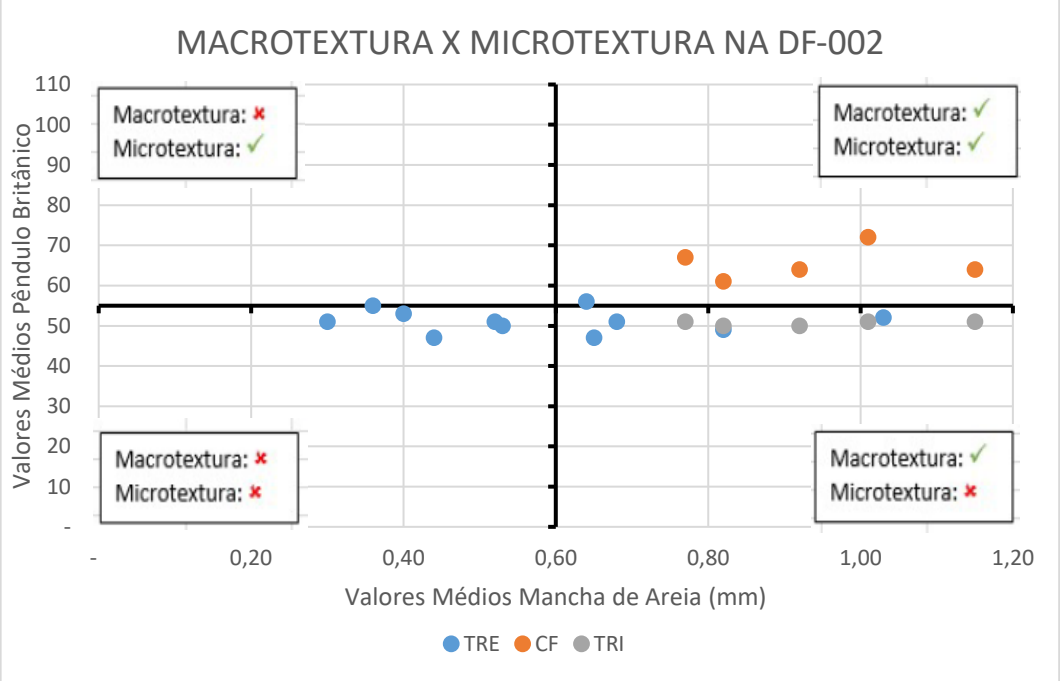
Fonte: Própria.

4.3.4. Possíveis intervenções na DF-002

Dado os valores apresentados para a Macrotextura e a Microtextura, foi desenvolvido um gráfico para melhor visualização da situação da rodovia.

Para o pavimento da DF-002 não é considerada nenhuma intervenção imediata. Pelos valores que apresentam preocupação estarem representados pelos pontos de Trilho de Rodas Externa e, mesmo assim, com pequena distância dos valores mínimos de referência, será necessário um acompanhamento na via para decidir uma melhor intervenção futura.

Gráfico 9: Macrotextura X Microtextura na DF-002



Fonte: Própria.

4.4. RESULTADOS DA DF-047 PARA PAVIMENTO RÍGIDO

O pavimento rígido da DF-047 é um pavimento novo, construído há alguns anos com a finalidade de corredor exclusivo de ônibus. O pavimento rígido é um tipo de estrutura que está sendo inserida de forma recente na malha viária do Distrito Federal. Há poucos estudos, em Brasília, sobre a análise de segurança desse tipo de pavimento.

4.4.1. Avaliação da Macrotextura da DF-047

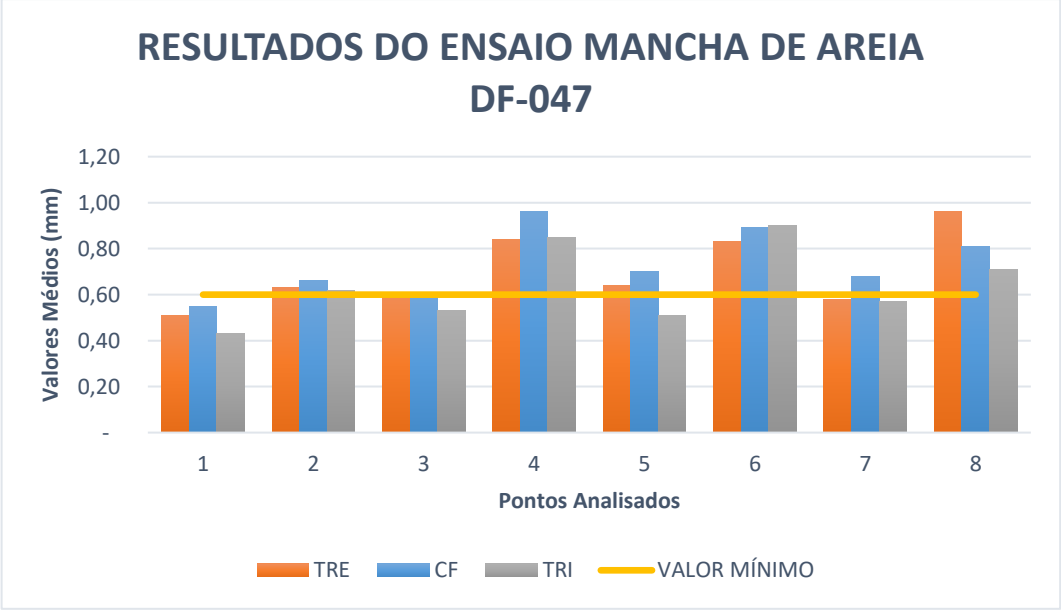
Os dados relacionados à Macrotextura da DF-047 são apresentados na Tabela e Gráfico abaixo.

Tabela 14: Resultados de Macrotextura para o pavimento rígido da rodovia DF-047

MANCHA DE AREIA						
PONTO	VALOR MÉDIO DA ALTURA DA AREIA (mm)			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	0,51	0,55	0,43	Média	Média	Média
2	0,63	0,66	0,62	Média	Média	Média
3	0,61	0,61	0,53	Média	Média	Média
4	0,84	0,96	0,85	Grosseira ou Aberta	Grosseira ou Aberta	Grosseira ou Aberta
5	0,64	0,70	0,51	Média	Média	Média
6	0,83	0,89	0,90	Grosseira ou Aberta	Grosseira ou Aberta	Grosseira ou Aberta
7	0,58	0,68	0,57	Média	Média	Média
8	0,96	0,81	0,71	Grosseira ou Aberta	Grosseira ou Aberta	Média

Fonte: Própria.

Gráfico 10: Resultados do ensaio Mancha de Areia no pavimento rígido da DF-047



Fonte: Própria.

De uma forma geral, os resultados encontrados se apresentaram de forma bastante uniforme, como esperado, dado o rigoroso processo de execução do pavimento rígido. Alguns pontos

começaram a apresentar valores inferiores para a análise de Macrotextura devido a ação do tráfego.

4.4.2. Avaliação da Microtextura da DF-047

Os dados relacionados à Microtextura da DF-047 são apresentados na Tabela e Gráfico abaixo.

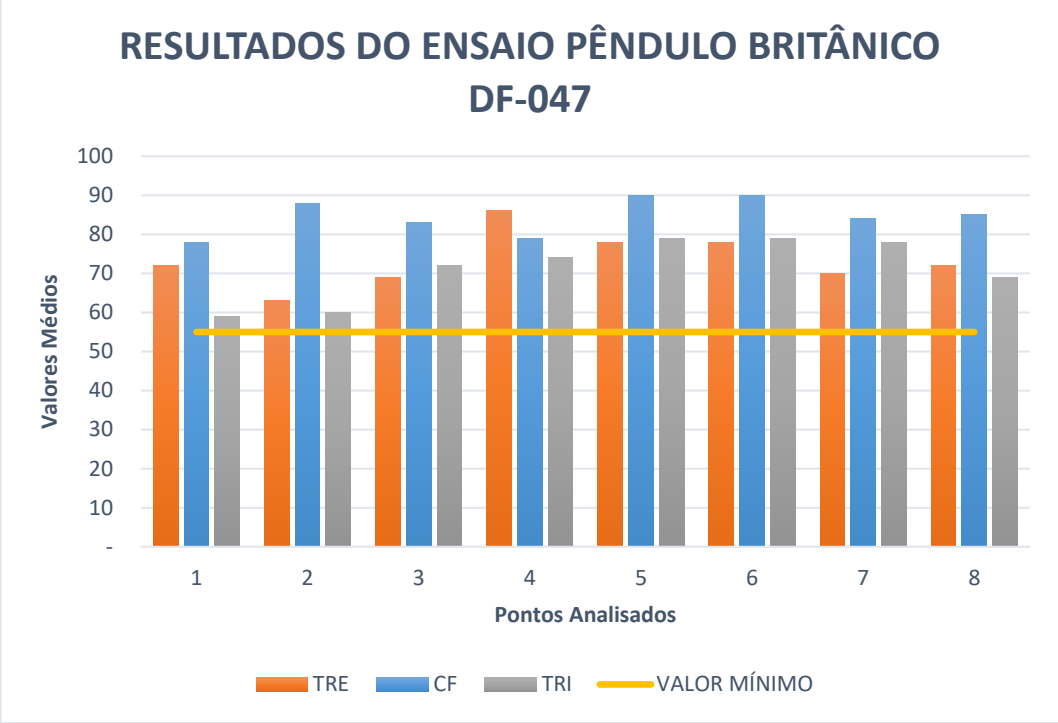
Tabela 15: Resultados de Microtextura para o pavimento rígido da rodovia DF-047

PÊNDULO BRITÂNICO						
PONTO	VALOR MÉDIO			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	72	78	59	Rugosa	Muito Rugosa	Rugosa
2	63	88	60	Rugosa	Muito Rugosa	Rugosa
3	69	83	72	Rugosa	Muito Rugosa	Rugosa
4	86	79	74	Muito Rugosa	Muito Rugosa	Rugosa
5	78	90	79	Muito Rugosa	Muito Rugosa	Muito Rugosa
6	78	90	79	Muito Rugosa	Muito Rugosa	Muito Rugosa
7	70	84	78	Rugosa	Muito Rugosa	Muito Rugosa
8	72	85	69	Rugosa	Muito Rugosa	Rugosa

Fonte: Própria.

Os resultados encontrados para o ensaio do Pêndulo Britânico no pavimento rígido da DF-047 são muito positivos e caracterizam uma excelente aderência pneu-pavimento. Já começam a aparecer sinais de desgaste nas Trilhas de Roda, porém ainda recentes.

Gráfico 11: Resultados do ensaio Pêndulo Britânico do pavimento rígido da DF-047



Fonte: Própria.

4.4.3. Cálculo do IFI para a DF-047

Os valores do IFI estão dispostos abaixo, assim como a sua classificação.

Tabela 16: Cálculo do IFI para o pavimento rígido da DF-047

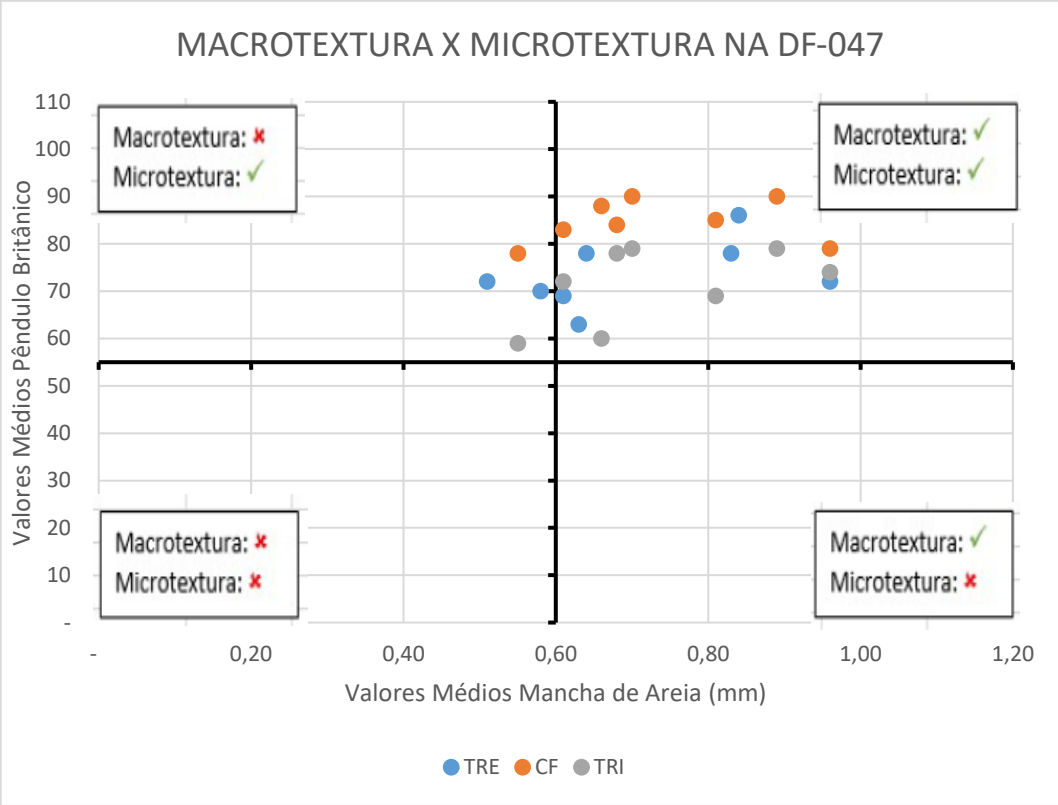
CÁLCULO DO IFI											
PONTO	SP			FR60		IFI (F60)			RESULTADO		
	T.R.E	C.F	T.R.I	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	46,34	50,88	37,25	29,20	15,41	0,25	0,29	0,18	Bom	Bom	Bom
2	59,97	63,38	58,83	39,98	25,65	0,27	0,38	0,26	Bom	Ótima	Bom
3	57,70	57,70	48,61	34,89	25,74	0,29	0,34	0,26	Bom	Ótima	Bom
4	83,82	97,46	84,96	47,29	41,08	0,43	0,43	0,38	Ótima	Ótima	Ótima
5	61,10	67,92	46,34	43,11	26,85	0,33	0,40	0,27	Ótima	Ótima	Bom
6	82,69	89,50	90,64	51,48	45,50	0,40	0,47	0,42	Ótima	Ótima	Ótima
7	54,29	65,65	53,15	39,22	30,45	0,28	0,37	0,30	Bom	Ótima	Bom
8	97,46	80,42	69,06	45,64	33,45	0,40	0,42	0,32	Ótima	Ótima	Ótima

Fonte: Própria.

4.4.4. Possíveis intervenções na DF-047

Dado os valores apresentados para a Macrotextura e a Microtextura, foi desenvolvido um gráfico para melhor visualização da situação da rodovia.

Gráfico 12: Macrotextura X Microtextura do pavimento rígido na DF-047



Fonte: Própria.

Dado os resultados apresentados no Gráfico acima, não é recomendada nenhuma intervenção no pavimento.

4.5. RESULTADOS DA DF-003

A DF-003 também é uma rodovia que apresenta uma das faixas com placas de concreto de cimento Portland para tráfego de ônibus, porém mais antiga do que a DF-047.

4.5.1. Avaliação da Macrotextura da DF-003

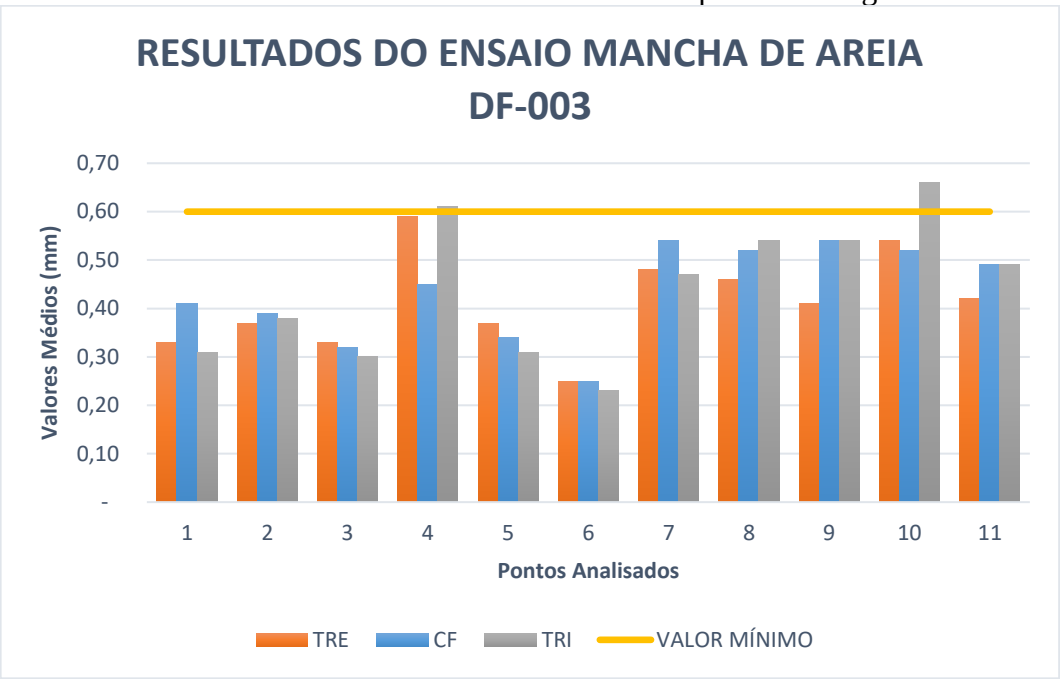
Os dados relacionados à Macrotextura da DF-003 são apresentados na Tabela e Gráfico abaixo.

Tabela 17:Resultados de Macrotextura para o pavimento rígido da rodovia DF-003

MANCHA DE AREIA						
PONTO	VALOR MÉDIO DA ALTURA DA AREIA (mm)			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	0,33	0,41	0,31	Fina ou Fechada	Média	Fina ou Fechada
2	0,37	0,39	0,38	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada
3	0,33	0,32	0,30	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada
4	0,59	0,45	0,61	Média	Média	Média
5	0,37	0,34	0,31	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada
6	0,25	0,25	0,23	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada	Fina ou Fechada
7	0,48	0,54	0,47	Média	Média	Média
8	0,46	0,52	0,54	Média	Média	Média
9	0,41	0,54	0,54	Média	Média	Média
10	0,54	0,52	0,66	Média	Média	Média
11	0,42	0,49	0,49	Média	Média	Média

Fonte: Própria.

Gráfico 13: Resultados do ensaio Mancha de Areia no pavimento rígido da DF-003



Fonte: Própria.

Os valores obtidos para a análise de Macrotextura da DF-003 mostraram-se insatisfatórios para os parâmetros de segurança, no entanto demonstra um desgaste com menos agressividade quanto comparado ao pavimento flexível. Apresentando, no entanto, em alguns pontos, valores muito baixos e preocupantes.

4.5.2. Avaliação da Microtextura da DF-003

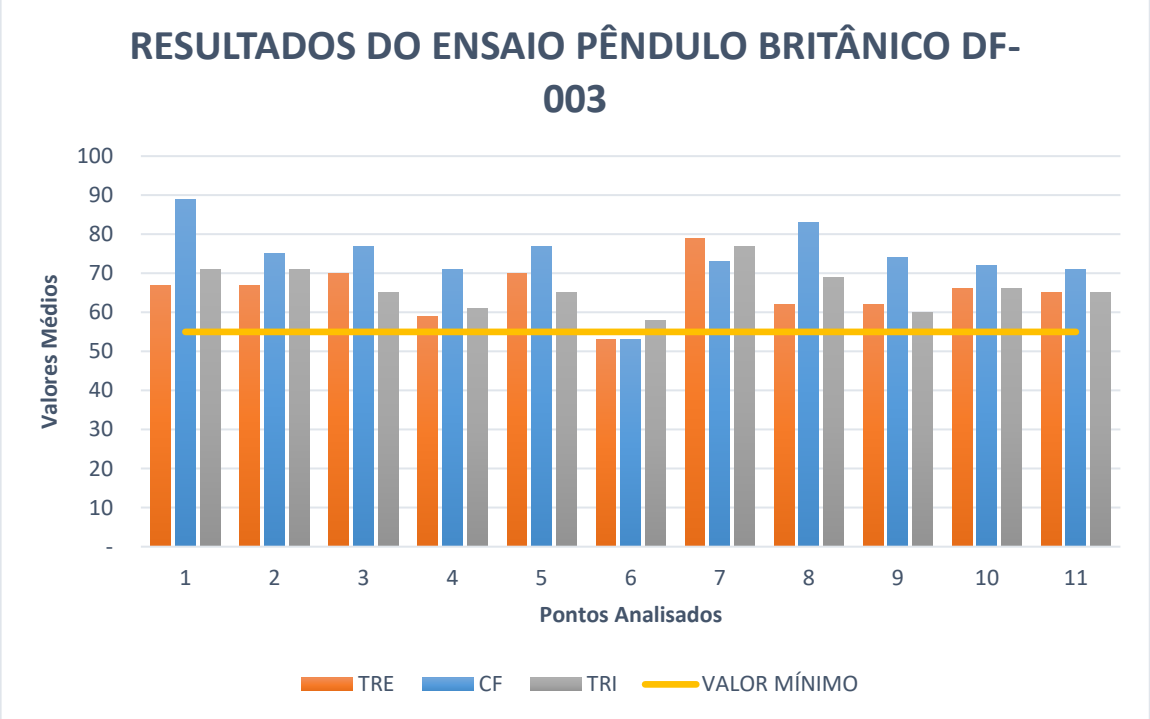
Os dados relacionados à Microtextura da DF-003 são apresentados na Tabela e Gráfico abaixo.

Tabela 18: Resultados de Microtextura para o pavimento rígido da rodovia DF-003

PÊNDULO BRITÂNICO						
PONTO	VALOR MÉDIO			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	67	89	71	Rugosa	Muito Rugosa	Rugosa
2	67	75	71	Rugosa	Muito Rugosa	Rugosa
3	70	77	65	Rugosa	Muito Rugosa	Rugosa
4	59	71	61	Rugosa	Rugosa	Rugosa
5	70	77	65	Rugosa	Muito Rugosa	Rugosa
6	53	53	58	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	Rugosa
7	79	73	77	Muito Rugosa	Rugosa	Muito Rugosa
8	62	83	69	Rugosa	Muito Rugosa	Rugosa
9	62	74	60	Rugosa	Rugosa	Rugosa
10	66	72	66	Rugosa	Rugosa	Rugosa
11	65	71	65	Rugosa	Rugosa	Rugosa

Fonte: Própria.

Gráfico 14: Resultados do ensaio Pêndulo Britânico do pavimento rígido da DF-003



Fonte: Própria.

Para um pavimento dito antigo, os valores de microtextura apresentam resultados muito satisfatórios e mostram aspectos relevantes do uso de pavimento rígido em regiões em que as intervenções no tráfego necessitam ocorrer com maior espaço de tempo, já que os parâmetros de segurança se mantiveram com o tempo.

4.5.3. Cálculo do IFI para a DF-003

Os valores do IFI estão dispostos abaixo, assim como a sua classificação.

Tabela 19: Cálculo do IFI para o pavimento rígido da DF-003

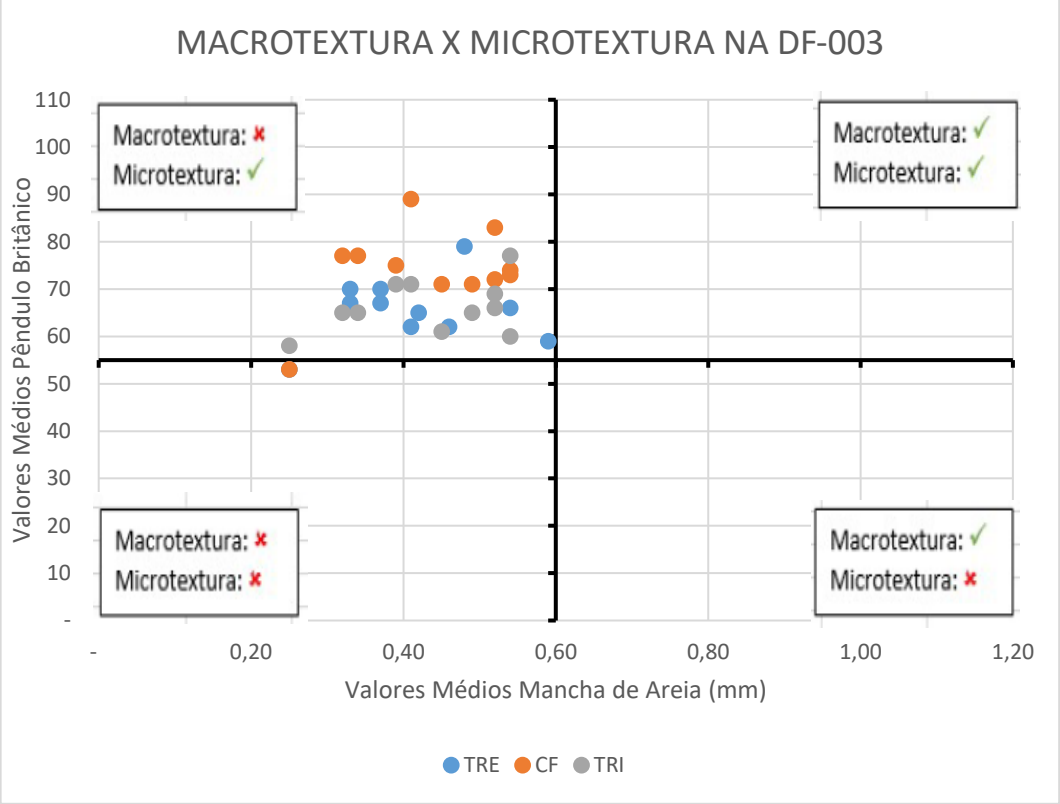
CÁLCULO DO IFI											
PONTO	SP			FR60		IFI (F60)			RESULTADO		
	T.R.E	C.F	T.R.I	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	25,89	34,98	23,62	21,31	8,55	0,13	0,23	0,12	Regular	Bom	Ruim
2	30,43	32,70	31,57	16,26	14,57	0,16	0,19	0,17	Regular	Bom	Bom
3	25,89	24,75	22,48	10,21	7,03	0,14	0,14	0,11	Regular	Regular	Ruim
4	55,42	39,52	57,70	20,04	25,64	0,25	0,22	0,26	Bom	Bom	Bom
5	30,43	27,02	23,62	12,10	7,82	0,16	0,15	0,12	Bom	Regular	Ruim
6	16,80	16,80	14,53	2,70	1,86	0,08	0,08	0,07	Ruim	Ruim	Ruim
7	42,93	49,74	41,79	26,72	23,28	0,25	0,27	0,24	Bom	Bom	Bom
8	40,66	47,47	49,74	28,95	25,25	0,20	0,29	0,26	Bom	Bom	Bom
9	34,98	49,74	49,74	27,08	21,96	0,17	0,27	0,23	Bom	Bom	Bom
10	49,74	47,47	63,38	25,11	29,99	0,25	0,26	0,30	Bom	Bom	Bom
11	36,11	44,06	44,06	22,83	20,90	0,19	0,24	0,22	Bom	Bom	Bom

Fonte: Própria.

4.5.4. Possíveis intervenções na DF-003

Dado os valores apresentados para a Macrotextura e a Microtextura, foi desenvolvido um gráfico para melhor visualização da situação da rodovia.

Gráfico 15: Macrotextura X Microtextura do pavimento rígido na DF-003



Fonte: Própria.

Como apresentado anteriormente nos resultados dessa rodovia, a única intervenção necessária seria corrigir a textura do pavimento no que diz respeito a Macrotextura. A criação de ranhuras no pavimento rígido, como a texturização que ocorre na implantação desse tipo de estrutura, seria uma solução adequada.

4.6. RESULTADOS DA DF-047 PARA PAVIMENTO COM MICRORREVESTIMENTO

A DF-047 é uma das poucas rodovias do Distrito Federal que receberam o tratamento de microrrevestimento há tempos, em uma época de uso pouco regular. Por isso, seus resultados são de grande valia para esse estudo. Os pontos analisados somam um pequeno espaço amostral dado o histórico do tipo de solução construtiva utilizada no DF.

4.6.1. Avaliação da Macrotextura da DF-047

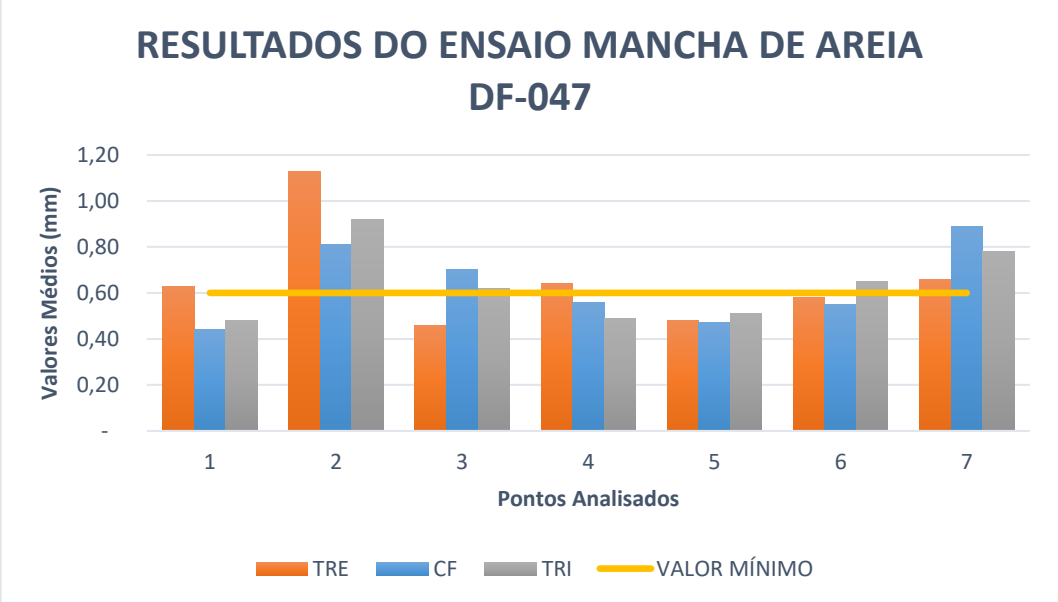
Os dados relacionados à Macrotextura da DF-047 são apresentados na Tabela e Gráfico abaixo.

Tabela 20: Resultados de Macrotextura para o microrrevestimento da rodovia DF-047

MANCHA DE AREIA						
PONTO	VALOR MÉDIO DA ALTURA DA AREIA (mm)			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	0,63	0,44	0,48	Média	Média	Média
2	1,13	0,81	0,92	Grosseira ou Aberta	Grosseira ou Aberta	Grosseira ou Aberta
3	0,46	0,70	0,62	Média	Média	Média
4	0,64	0,56	0,49	Média	Média	Média
5	0,48	0,47	0,51	Média	Média	Média
6	0,58	0,55	0,65	Média	Média	Média
7	0,66	0,89	0,78	Média	Grosseira ou Aberta	Média

Fonte: Própria.

Gráfico 16: Resultados do ensaio Mancha de Areia no microrrevestimento da DF-047



Fonte: Própria.

Sabendo da idade do pavimento, eram esperados valores de baixa segurança para o ensaio de Mancha de Areia. Portanto, os resultados encontrados atuam contra a segurança do pavimento.

4.6.2. Avaliação da Microtextura da DF-047

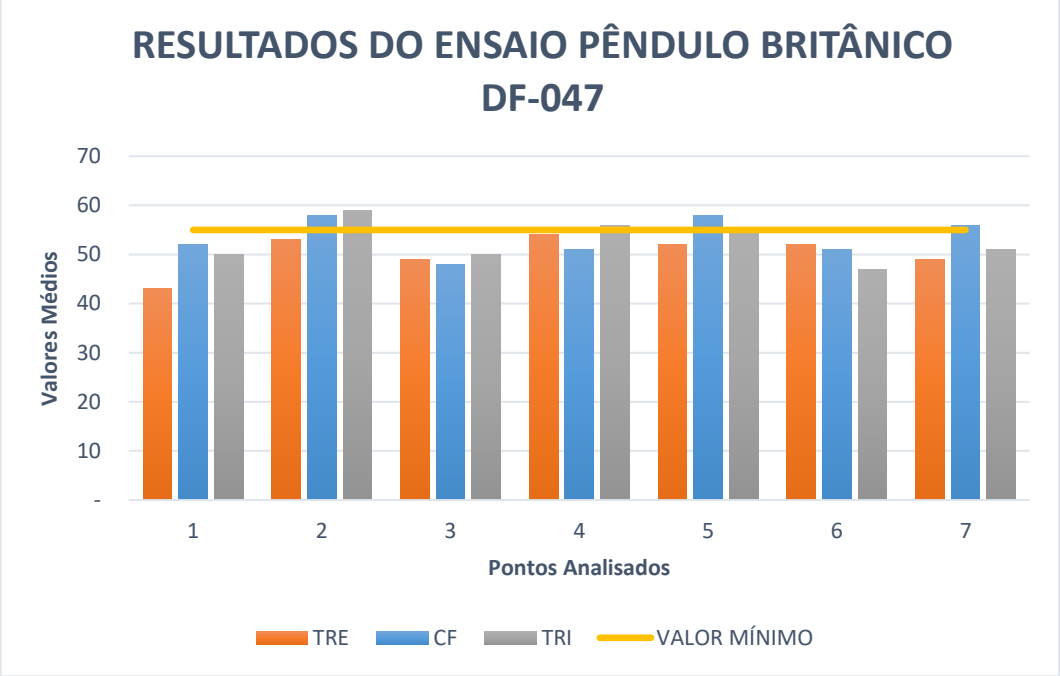
Os dados relacionados à Microtextura da DF-047 são apresentados na Tabela e Gráfico abaixo.

Tabela 21: Resultados de Microtextura para o microrrevestimento da rodovia DF-047

PÊNDULO BRITÂNICO						
PONTO	VALOR MÉDIO			TEXTURA OBTIDA		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	43	52	50	Insuficientemente Rugosa	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa
2	53	58	59	Medianamente Rugosa	Rugosa	Rugosa
3	49	48	50	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa
4	54	51	56	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	Rugosa
5	52	58	55	Medianamente Rugosa	Rugosa	Rugosa
6	52	51	47	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa	Medianamente Rugosa
7	49	56	51	Medianamente Rugosa	Rugosa	Medianamente Rugosa

Fonte: Própria.

Gráfico 17: Resultados do ensaio Pêndulo Britânico do microrrevestimento da DF-047



Fonte: Própria.

De uma forma geral, os valores do Pêndulo Britânico apresentaram-se com um resultado positivo para um pavimento antigo. Apesar dos valores abaixo da referência, estes encontram-se próximos ao mínimo.

4.6.3. Cálculo do IFI para a DF-047

Os valores do IFI estão dispostos abaixo, assim como a sua classificação.

Tabela 22: Cálculo do IFI para o microrrevestimento a DF-047

CÁLCULO DO IFI												
PONTO	SP			FR60			IFI (F60)			RESULTADO		
	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I	T.R.E	C.F	T.R.I
1	59,97	38,38	42,93	18,68	14,13	15,60	0,21	0,17	0,18	Bom	Bom	Bom
2	116,77	80,42	92,91	34,54	31,15	34,45	0,33	0,31	0,33	Ótima	Ótima	Ótima
3	40,66	67,92	58,83	14,32	22,99	21,37	0,17	0,24	0,23	Bom	Bom	Bom
4	61,10	52,02	44,06	23,82	19,50	18,00	0,25	0,21	0,20	Bom	Bom	Bom
5	42,93	41,79	46,34	16,22	17,53	18,70	0,19	0,20	0,21	Bom	Bom	Bom
6	54,29	50,88	62,24	20,70	19,09	21,05	0,22	0,21	0,22	Bom	Bom	Bom
7	63,38	89,50	77,01	22,26	32,03	26,64	0,23	0,31	0,27	Bom	Ótima	Bom

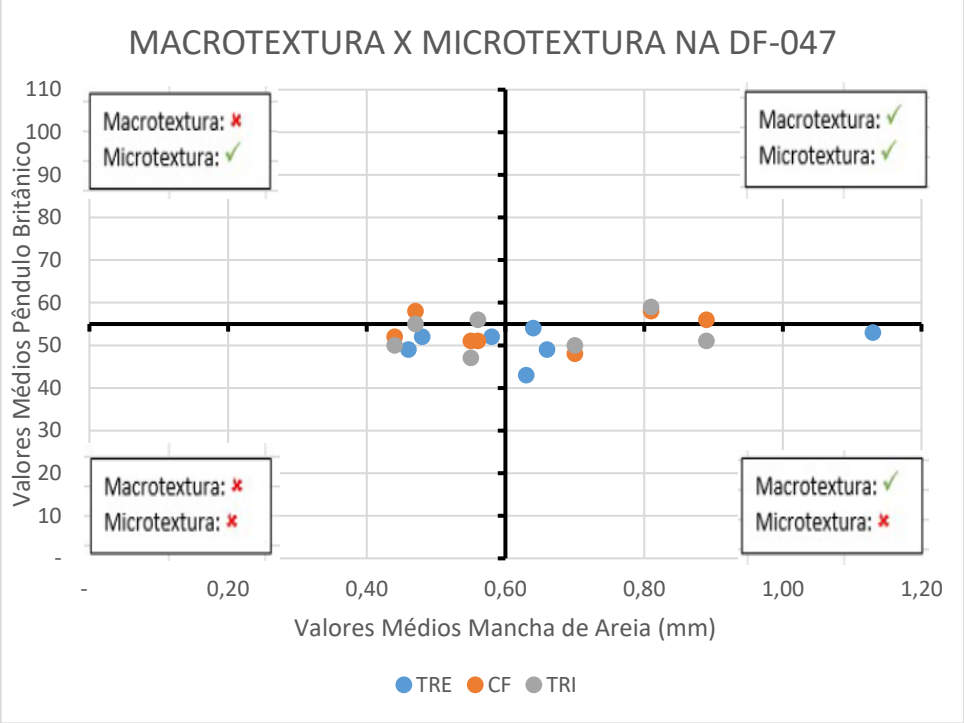
Fonte: Própria.

4.6.4. Possíveis intervenções na DF-047

Dado os valores apresentados para a Macrotextura e a Microtextura, foi desenvolvido um gráfico para melhor visualização da situação da rodovia.

Assim como o tipo de solução apontada para a DF-430, a DF-047 deve receber rejuvenescimento para melhora da mecânica dos pavimentos. É aconselhado que seja realizado um tratamento com microrrevestimento nessa rodovia, para que os parâmetros analisados obtenham resultados melhores. A intervenção é suficiente dada a boa estrutura do pavimento existente.

Gráfico 18: Macrotextura X Microtextura do pavimento flexível na DF-047



Fonte: Própria.

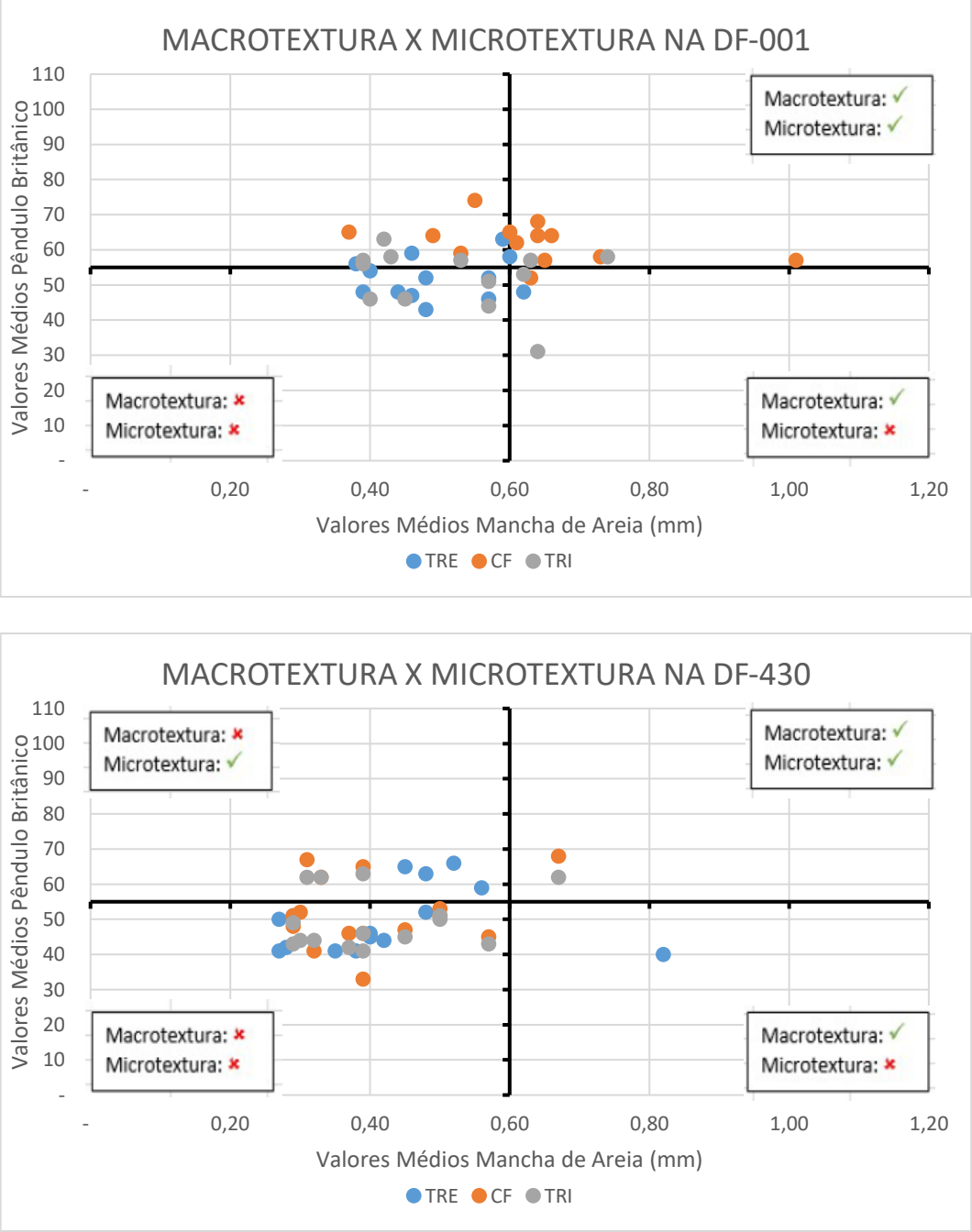
4.7. ANÁLISE COMPARATIVA DE PAVIMENTOS COM IDADES DIFERENTES

As rodovias deste estudo foram analisadas em pares justamente para que possa ser realizado uma comparação entre pavimentos com o mesmo tipo de tratamento ou estrutura, avaliando sua função de Macrotextura e Microtextura ao longo do tempo. Os resultados são apresentados a seguir.

4.7.1. Concreto Asfáltico

As duas rodovias com concreto asfáltico são a DF-001 e a DF-430, consideradas nova e antiga, respectivamente. Seu quatro comparativo segue abaixo.

Gráfico 19: Análise comparativa de rodovias com concreto asfáltico



Fonte: Própria.

É possível inferir na comparação entre os dois gráficos que, no geral, não houveram mudanças bruscas nos valores encontrados para a Macrotextura e a Microtextura. No entanto, houve piora nos resultados da Microtextura.

Em suma, o pavimento de concreto asfáltico não apresenta excelente valores em nenhuma dessas duas fases de sua vida útil, mantendo-se estável negativamente. Dessa forma é possível depreender que, para esse tipo de pavimento, as ações corretivas da gerência de pavimento terão de ser mais frequentes.

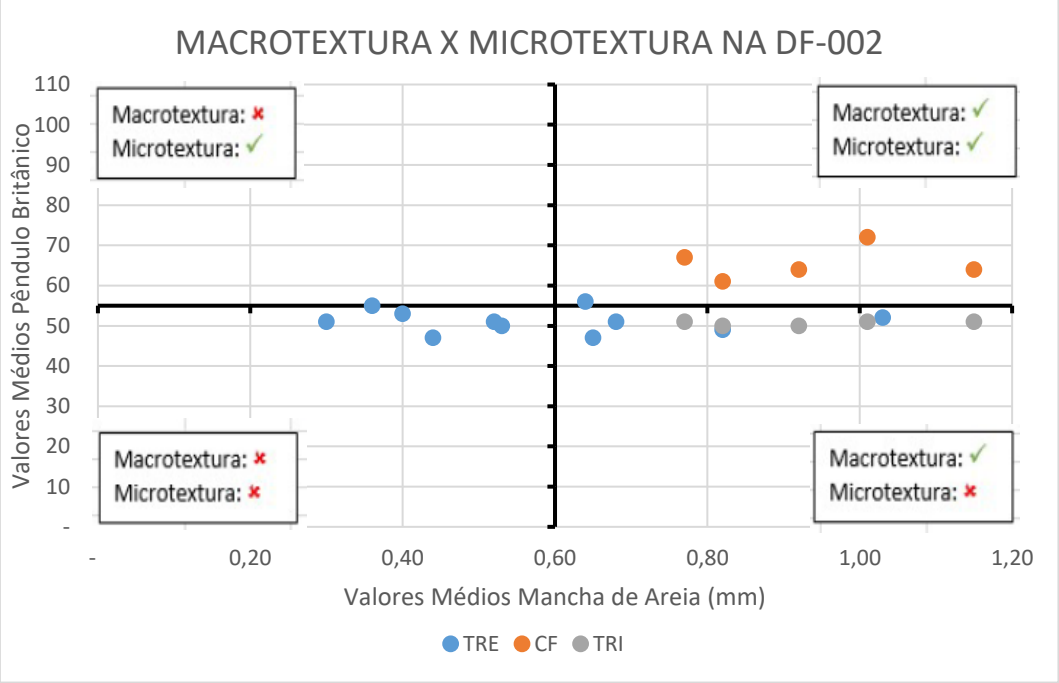
4.7.2. Microrrevestimento

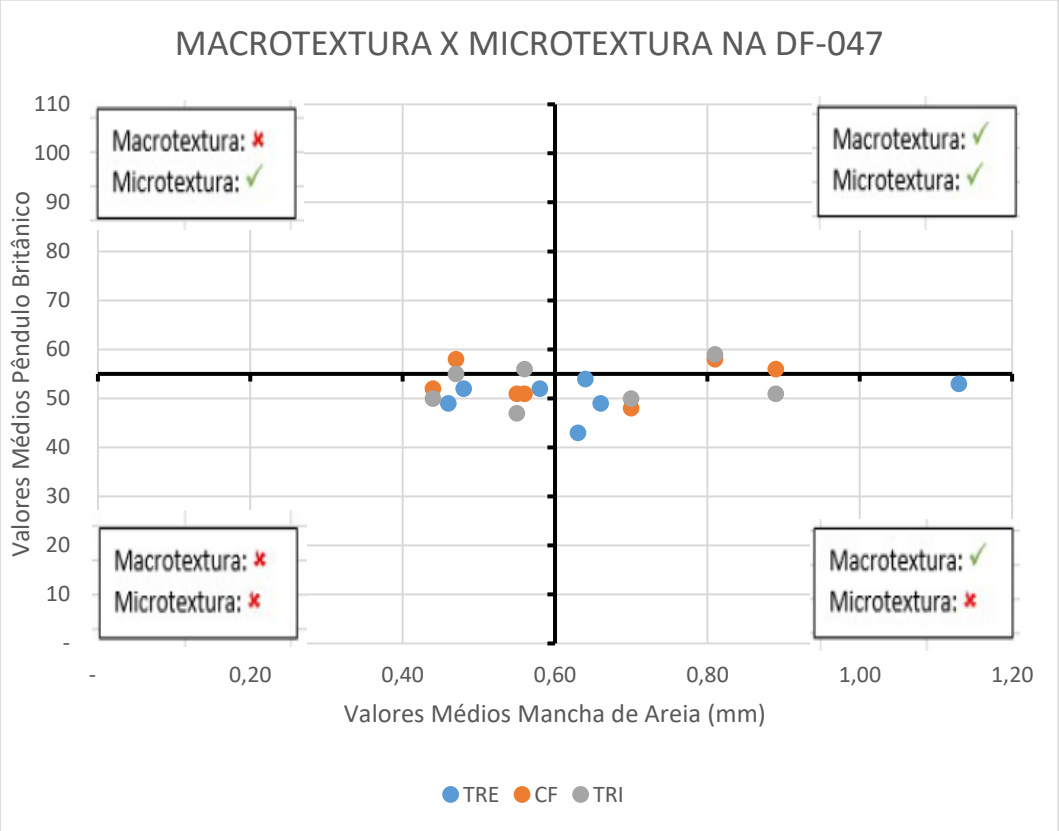
As duas rodovias com concreto asfáltico são a DF-002 e a DF-047, consideradas nova e antiga, respectivamente. Seu quatro comparativo segue abaixo.

No caso do microrrevestimento, a mudança foi grande no comportamento e característica desse tipo de pavimento ao longo dos anos. É visível a função no microrrevestimento de rejuvenescer o pavimento, dando mais alguns anos de vida útil à estrutura, já que ele não demonstra grandes valores de segurança, que se deterioram ao longo do tempo.

Para esse tipo de revestimento, são necessários mais estudos e amostras para que se possa formar um modelo de análise.

Gráfico 20: Análise comparativa de rodovias que receberam camada de microrrevestimento





Fonte: Própria.

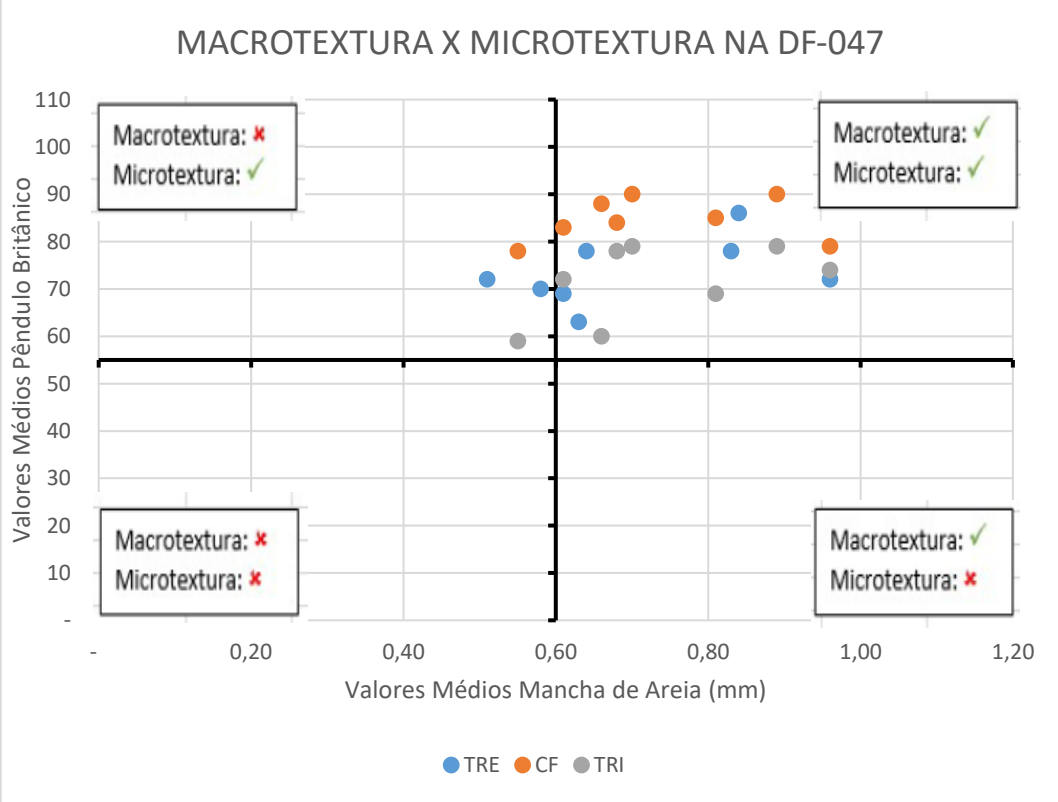
4.7.3. Pavimento Rígido

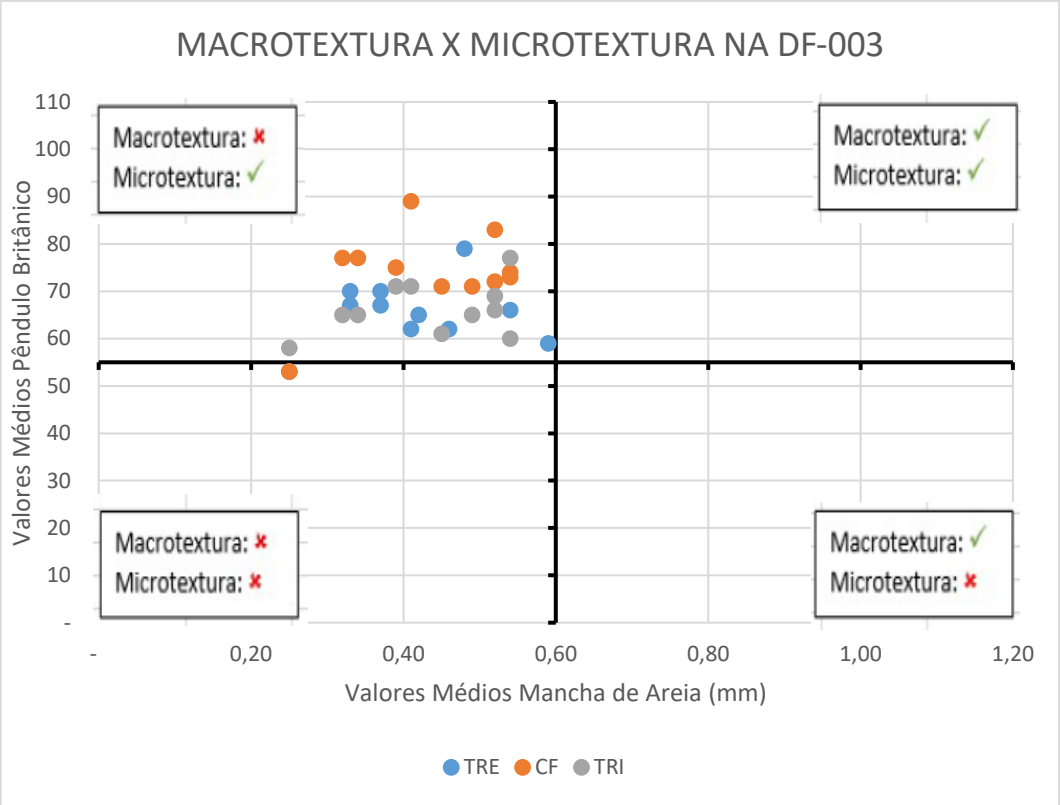
As duas rodovias com concreto asfáltico são a DF-047 e a DF-003, consideradas nova e antiga, respectivamente. Seu quatro comparativo segue abaixo.

No pavimento rígido, o movimento que é percebido é uma grande perda da Macrotextura, quase que completamente, tornando-se um pavimento liso. Já, no entanto, a Microtextura, é conservada de uma forma que nenhum outro tipo de pavimento conseguiu nesse estudo.

Isso demonstra o grande potencial do pavimento rígido para a área de gerência de pavimentos, dada a sua baixa necessidade de intervenção. Ademais, a intervenção recorrente e necessária seria a texturização do pavimento, para garantir a altura da mancha de areia com valores seguros.

Gráfico 21: Análise comparativa de rodovias com pavimento rígido





Fonte: Própria.

5. CONCLUSÕES E RESULTADOS

5.1. CONCLUSÕES

De posse dos resultados apresentados, é possível chegar a conclusões significantes. A primeira delas é da ineficiência, de um modo global, dos agregados do Distrito Federal, no que diz respeito a atingir valores de Macrotextura nos pavimentos. Dada a sua matriz geológica calcárea, é visível a sua fraqueza na resistência mecânica aos atritos pneu-pavimento, tornando a estrutura polida em um rápido período de tempo. Esse grande problema é algo regional, que não há como ser solucionado, dentro dos parâmetros de formação de preços e método executivo para obras de pavimentação. No entanto, ter o conhecimento dessa característica é fundamental

para uma boa gerência de pavimentos, já que microfresagens e uso de diferentes traços de Concreto Asfáltico podem ser utilizados para atenuar essa deficiência.

A segunda conclusão relevante é do bom resultado apresentado pelo pavimento rígido. Mesmo o pavimento com boa idade apresentou resultados positivos na análise de Microtextura, como nenhum outro pavimento estudado. Em casos de rodovias com grande tráfego e pequeno tempo de intervenção, seja interessante adorar esse sistema, que vem se mostrando um bom tipo de pavimento para corredores exclusivos de ônibus.

Outra afirmação que pôde ser conferida nesse trabalho foi a da função do microrrevestimento. Normalmente utilizado para dar nova vida a um pavimento gasto pelo tempo e tráfego, o tratamento, nas questões de Macrotextura e Microtextura, conferiu, em resultados, o seu objetivo. Mesmo sem alcançar grandes valores nos ensaios realizados, ele manteve-se dentro da faixa de mínimo.

Por fim, a análise do concreto asfáltico demonstra a uniformidade na queda de resultados do pavimento ao longo do tempo. O tipo de revestimento mais utilizado no Distrito Federal e no Brasil obteve resultados singelos no que diz respeito a pavimentos novos, porém mostrou um comportamento gradual de piora na segurança. Essa observação é interessante porque permite, com a análise contínua, a percepção do melhor momento para que sejam realizadas intervenções preventivas e corretivas de menor custo.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho de coleta e apresentação de resultados dos ensaios de Mancha de Areia e Pêndulo Britânico nas rodovias do DF para obtenção dos parâmetros necessários para cálculo de índices de segurança é extremamente relevante para o Estado, assim como muito enriquecedor para o aluno ou aluna de graduação, já que abrange diversos temas de estudo sensíveis e importantes

à infraestrutura de uma cidade. Uma grande sugestão para trabalhos futuros seria a de formar grupos de coleta e estudo contínuos, para que seja formado um grande banco de dados, para melhores análises.

Na mesma importância, é interessante que sejam analisadas mais rodovias, cada qual com mais pontos, a fim de que o espaço amostral seja o maior possível.

E, por fim, é de suma importância que os ensaios sejam realizados, sempre que possível, pelos mesmos técnicos ou profissionais habilitados para que não haja grande dispersão nos resultados, já que a parte de calibração e limpeza da área impactam enormemente os resultados e são todas serviços manuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APS, Márcia (2006). Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos. Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 2006. 179p.

ASTM (2003). Standard test method for measuring surface frictional properties using the british pendulum tester. Annual book of ASTM Standarts – ASTM E 303-3, Road and Paving Materials; Vehicle Pavement Systems, Volume 04.03, USA, 2003, 5p.

ASTM (1998). Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface. Annual book of ASTM Standarts – ASTM E 1960-98.

ATLAS DA ACIDENTALIDADE NO TRANSPORTE BRASILEIRO. Disponível em < https://www.atlasacidentesnotransporte.com.br/consulta?grafico=acidente#graph>. Acesso em 10/09/2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Mortes nas rodovias brasileiras. Disponível em < https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/acidentes-e-mortes-nas-rodovias-federais-aumentam-em-2021>. Acesso em 10/09/2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Painel CNT de Acidentes Rodoviários. Disponível em <https://www.cnt.org.br/painel-acidente>. Acesso em 10/09/2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Pesquisa CNT de rodovias. Brasília, 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Principais Defeitos Do Pavimento Das Rodovias. Disponível em < https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/conheca-principais-defeitos-pavimento>. Acesso em 11/09/2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Restauração de pavimentos asfálticos, 2. ed., Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Norma DNIT 031/2006 – ES: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Norma DNIT 112/2009 – ES: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico com asfaltoborracha, via úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009.

GURGEL, J.P.V. (2019). Análise da Relação entre Condição do Pavimento e Acidentalidade. Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF-001/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 63 p.

MATTOS, J. R. G. (2009). Avaliação Da Aderência Pneu-Pavimento E Tendências De Desempenho Para A Rodovia BR-290/RS. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 139 pág.

MOMM, L. Estudo dos Efeitos da Granulometria Sobre a Macrotextura Superficial do Concreto Asfáltico e Seu Comportamento Mecânico. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998.

OLIVEIRA, F.H.L. (2009). Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrotextura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 178 pág.

PETROBRAS. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Liedi Bariani Bernucci [et al.]. – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.