



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CECÍLIA CATARINA OLIVEIRA DE CASTRO

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM DE REVESTIMENTOS
FLEXÍVEIS EM SERVIÇO POR MEIO DOS PARÂMETROS IFI E SN₄₀**

FORTALEZA

2018

CECÍLIA CATARINA OLIVEIRA DE CASTRO

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM DE REVESTIMENTOS FLEXÍVEIS
EM SERVIÇO POR MEIO DOS PARÂMETROS IFI E SN₄₀

Monografia apresentada à Coordenação do curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C35a Castro, Cecília Catarina Oliveira de.
Análise da resistência à derrapagem de revestimentos flexíveis em serviço por meio dos parâmetros IFI e SN40 / Cecília Catarina Oliveira de Castro. – 2018.
63 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira.
1. Aderência pneu-pavimento. 2. Microtextura. 3. Macrotextura. 4. Índice Internacional de Atrito. 5. Resistência à derrapagem. I. Título.

CDD 620

CECÍLIA CATARINA OLIVEIRA DE CASTRO

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM DE REVESTIMENTOS FLEXÍVEIS
EM SERVIÇO POR MEIO DOS PARÂMETROS IFI E SN₄₀

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Engenharia Civil do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial para obtenção do Título
de Engenharia Civil.

Aprovada em __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Marisete Dantas de Aquino
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Lucas Cavalcante de Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Cecília e Leandro.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, a Deus, a quem sou grata pelos caminhos que traçou para mim e por me dar sanidade física e mental para completar com êxito essa graduação. Por ter segurado a minha mão nos momentos de angústias, de lágrimas e também de conquistas. Por sempre me proteger e me guiar, mesmo quando eu pensei que não houvesse mais chão para eu caminhar.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Heber Oliveira, por quem tenho imenso apreço, obrigada pela confiança, incentivo e apoio pertinentes que foram fundamentais para prosseguir com êxito esse estudo. Obrigada por todo conhecimento transmitido, pela paciência, por todas as correções minuciosas, por tanta gentileza e disponibilidade em me atender.

À professora Marisete, por ministrar a disciplina de Projeto de Graduação II de forma tão leve e descontraída, amenizando toda a tensão que sentimos nesse período, mas mostrando rigor quando necessário.

Aos meus pais, Cecília Pessoa e Leandro de Castro, que prepararam o meu caminho desde que nasci. Foram meus primeiros mestres: os professores do certo e do errado, do aprender a caminhar e do falar. Vocês se sacrificaram, se dedicaram, abdicaram de tempo e de sonhos para que eu pudesse conquistar os meus. É com muita alegria e honra que a criança de vocês cresceu e se tornou Engenheira Civil.

A minha irmã, Caroline, a minha gratidão por estar sempre presente e sempre acreditar no meu potencial.

Aos queridos amigos, Cecília Guedes, Brennda, Raquel, Caetano, Ammanda, Luis Marcelo, Chyara, Dante e Ana Lúcia por estarem comigo durante os dias de prova, de trabalhos, de lágrimas, de angústia, de conquistas e de festa para fugir um pouco da dura realidade dessa civil. Obrigada também por todo o companheirismo fora dos muros da universidade. Aos queridos amigos Lennon e Elisa, que além de amizade, ofereçam-me também uma enorme parceria durante os árduos e desgastantes ensaios, sendo fundamentais para que esse projeto de graduação chegasse ao fim.

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

“Je connais mes limites. C'est pourquoi je vais au-delà. (Eu conheço meus limites. É por isso que eu os ultrapasso).” (Serge Gainsbourg).

RESUMO

Nos pavimentos flexíveis, sejam eles rodoviários ou aeroportuários, um dos fatores mais importantes para a garantia da segurança é a textura superficial do revestimento. Essa textura superficial é formada principalmente pelo conjunto microtextura e macrotextura. As condições de microtextura (obtida pelo Ensaio do Pêndulo Britânico) e macrotextura (obtida pelo Ensaio da Mancha de Areia) estão associadas à boa aderência e à efetiva drenagem superficial do pavimento, respectivamente. Além disso, adequadas condições de textura favorecem à segurança durante frenagens e manobras emergenciais, principalmente em situações de pista molhada. Este trabalho avaliou a segurança viária por meios do parâmetro do Índice Internacional de Atrito (*International Friction Index* –IFI) e de Resistência à derrapagem (*Skid Number* – SN), e verificou se os resultados convergem para um mesmo diagnóstico. Este trabalho também avaliou se os parâmetros de microtextura e de macrotextura possuem uma correlação que possa ser descrita por um modelo matemático. Para isso, foram analisados 22 revestimentos distintos, localizados na Universidade Federal do Ceará, *Campus Pici*. Por meio do estudo, foi possível verificar que os 22 revestimentos não possuem correlação entre os dados de microtextura e macrotextura, e que o IFI e o SN não convergem para um mesmo diagnóstico do pavimento, no aspecto de segurança da aderência pneu-pavimento.

Palavras-chave: Aderência pneu-pavimento. Microtextura. Macrotextura. Índice Internacional de Atrito. Resistência à derrapagem

ABSTRACT

On flexible pavements, be they road or airport, one of the most important factors for the safety guarantee is the surface texture of the revetment. This surface texture consists mainly of the microtexture and macrotexture. The microtexture conditions (obtained by the British Pendulum Test method) and macrotexture (obtained by Sand Stain Test) are associated with the good adhesion and effective surface drainage of the pavement, respectively. In addition, suitable texture conditions favor safety during braking and emergency maneuvers, especially in wet lane situations. This study evaluated road safety by means of the International Friction Index (IFI) and Skid Number (SN) parameters, and verified whether the results converge for the same diagnosis. This study also evaluated whether the microtexture and macrotexture parameters have a correlation that can be described by a mathematical model. For this, 22 different revetments were analyzed, located in the Federal University of Ceará, Campus Pici. By means of the study, it was possible to verify that the 22 revetment haven't correlation between the data of microtexture and macrotexture, and that the IFI and the SN don't converge for the same diagnosis of the pavement, in the aspect of safety of the adhesion tire-pavement.

Keywords: Tire/Pavement adhesion. Microtexture. Macrotexture. International Friction Index. Resistance to skidding

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interação Pneu-Pavimento	19
Figura 2 - Microtextura e macrotexura na superfície do pavimento	20
Figura 3 - Esquema de interações que ocorrem na interface	20
Figura 4 - Pêndulo Britânico	21
Figura 3 - Ensaio da Mancha de Areia	24
Figura 6 - Localização dos 22 revestimentos escolhidos dentro da UFC (Campus Pici).34	
Figura 7 - Areia, soquete, pincel e régua utilizados no ensaio de Mancha de Areia.....	35
Figura 8 - Sequência do Ensaio de Mancha de Areia.....	36
Figura 9 - Pêndulo Britânico utilizado	37
Figura 10 - Alguns momentos do Ensaio do Pêndulo Britânico	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Condições dos 22 pavimentos analisados	43
Gráfico 2 - Correlação entre VRD e HS dos 22 pavimentos.....	43
Gráfico 3 - Correlação de microtextura e macrotextura em	45
Gráfico 4 - Correlação de microtextura e macrotextura em revestimentos de macrotextura aberta.....	45
Gráfico 5 - Correlação de microtextura e macrotextura em revestimentos de macrotextura aberta.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de Textura.....	19
Tabela 2 - Classes de resistência à derrapagem / Pêndulo Britânico.....	22
Tabela 3 - Classes de macrotextura	24
Tabela 4 - Tipo de superfície em função da classe de micro e macrotextura.....	25
Tabela 5 - Valores das constantes a e b para a estimar a constante Sp	28
Tabela 6 - Valores de S, A, B e C, de acordo com os equipamentos calibrados pelos modelos da PIARC	29
Tabela 7 - Faixas de classificação do IFI, propostas na quarta tentativa de APS	31
Tabela 8 - Faixas de classificação do IFI, propostas na quarta tentativa de APS	31
Tabela 9 - Valores médios de resistência a derrapagem (SN) para diferentes condições da superfície do pavimento flexível	32
Tabela 10 - Classificação do coeficiente de determinação R ²	39
Tabela 11 - Dados de macrotextura e microtextura do Ponto 1	41
Tabela 12 - Resultados dos Ensaio de Mancha de Areia e do Pêndulo Britânico	42
Tabela 13 - Coeficientes de determinação para cada faixa de macrotextura.....	46
Tabela 14 - Resultados do Cálculo de SN ₄₀ e do cálculo de IFI para velocidades de 60 e 40 km/h	48
Tabela 15- Classificação do F ₆₀ , F ₄₀ e SN ₄₀	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Problema da Pesquisa	14
1.2 Questões Motivadoras.....	14
1.3 Justificativa	15
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Objetivo geral	16
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
1.5 Estrutura do Trabalho.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Interação pneu-pavimento.....	18
2.2 Textura superficial do pavimento.....	19
2.2.1 Microtextura	21
2.2.2 Macrotextura	22
2.3 Análise da micro e macrotextura de forma conjunta	25
2.3.1 Cálculo e Classificação do Internacional Friction Index (IFI).....	27
2.3.2 Cálculo e Classificação do SN₄₀.....	32
2.4 Pesquisas relacionadas sobre o tema	33
3 METODOLOGIA	34
4 RESULTADOS.....	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE A - DADOS E INFORMAÇÕES SOBRE A MACROTEXTURA E MICROTETURA DOS 22 PAVIMENTOS ANALISADOS	54

1 INTRODUÇÃO

O modo rodoviário é o principal sistema logístico do país, sendo responsável pela maior parte do escoamento de cargas e transporte de pessoas, além de beneficiar diversos segmentos sociais. A falta de conservação das rodovias pode ocasionar diversos problemas, tais como: aumento do custo operacional dos veículos, aumento do tempo de viagem e do grau de severidade dos acidentes, comprometendo a segurança viária. Assim, é necessário avançar no estudo de métodos cada vez mais eficientes que avaliem o comportamento funcional e estrutural dos pavimentos.

A expansão e o avanço das condições da infraestrutura da malha rodoviária não acompanharam o ritmo de crescimento da frota de veículos. Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2016), entre junho de 2006 e junho de 2016, a frota de veículos cresceu 110,4%, enquanto a extensão das rodovias se expandiu em 11,7%. Dessa forma, observa-se um aumento do fluxo veicular nas vias já existentes e isto, associada à falta de gestão apropriada na manutenção dos pavimentos, intensifica a falta de segurança nas rodovias.

A aderência pneu-pavimento é um dos fatores que, associados às características das vias, boas condições dos pneus dos veículos e um limite de velocidade adequado, pode reduzir a distância de frenagem e possibilitar a realização de manobras de emergência de forma mais segura e eficiente (APS, 2006). A textura dos revestimentos é um dos parâmetros mais influentes nas características do contato pneu-pavimento e pode ser avaliada a partir de resultados obtidos em ensaios sobre sua microtextura e macrotextura.

Outro parâmetro utilizado na avaliação das condições de segurança do pavimento é o *Internacional Friction Index* (IFI), sendo resultado de uma pesquisa internacional conduzida pela *World Road Association* (PIARC). Essa ferramenta combina os resultados da microtextura e da macrotextura do pavimento, resultando em um parâmetro único que facilita o diagnóstico do pavimento, quando avaliado sobre sua resistência à derrapagem. Paralelo a esse, existe outro modelo, proposto por Kokkalis e Panagouli (1998), que também harmoniza dados de microtextura e macrotextura, resultando em um valor único de resistência à derrapagem, chamado de SN (*Skid Number*).

O presente trabalho busca comparar resultados obtidos pelo cálculo do IFI e SN₄₀ (Resistência a derrapagem a 40 km/h), que possuem a mesma função, a avaliação da resistência a derrapagem, e os mesmos dados de entrada, para saber se convergem em um mesmo parecer. Estudos que contemplem relações existentes entre microtextura e macrotextura ainda são

escassos no contexto nacional. Logo, neste trabalho, busca-se também analisar se há correlações entre os resultados dos ensaios desses dois parâmetros, que possibilitem a previsão do desempenho de um a partir do resultado do ensaio do outro.

1.1 Problema da Pesquisa

Aspectos relativos à aderência de um pavimento variam ao longo do tempo, do tráfego e das condições climáticas aos quais ele está submetido. A microtextura e a macrotextura são parâmetros fundamentais para a análise da aderência pneu-pavimento, e, por conseguinte, afeta diretamente o nível de segurança viária.

No Brasil, a abrangência da avaliação da textura dos pavimentos ainda é deficiente, pois esta é feita, na maioria das vezes, apenas para aceitação de serviços de obras novas ou reabilitadas, e não para verificar, após certo período de tempo, se as condições de segurança da via ainda estão adequadas, ou se são necessárias medidas corretivas.

A existência de correlações desses dois parâmetros ainda é indeterminada e pouco estudada. Os ensaios tradicionais que avaliam a textura do pavimento, para que possibilite a integridade do operador e dos equipamentos, necessitam da paralisação parcial do tráfego, que gera desconforto ao usuário da via. Além disso, o ensaio do Pêndulo Britânico, comumente utilizado para determinação da microtextura, possui um procedimento exaustivo e necessita o manuseio de um equipamento pesado e de portabilidade complicada. Tudo isso pode apresentar-se como um obstáculo para a avaliação mais frequente do pavimento. Dessa forma, encontrar uma correlação entre os resultados dos ensaios de microtextura e macrotextura sobre um mesmo pavimento aperfeiçoaria o processo de avaliação de segurança, tornando-o mais rápido, eficiente e cômodo. Pois, dessa forma, não se fariam mais necessários a realização dos dois ensaios, apenas de um. Somado a isso, é importante comparar os resultados de dois parâmetros de desempenho, SN₄₀ e o IFI, para analisar se estes convergem para um mesmo parecer.

1.2 Questões Motivadoras

Diante das considerações apresentadas anteriormente, seguem os questionamentos que motivaram o presente trabalho:

- a) Os pavimentos analisados apresentam condições satisfatórias em sua macrotextura?
- b) Os pavimentos analisados apresentam condições satisfatórias em sua microtextura?
- c) É possível correlacionar, através de um modelo matemático, os resultados de microtextura e macrotextura? Se possível, como é dada essa correlação? Existem limitações?
- d) Em relação ao *Internacional Friction Index* (IFI), em que condições se encontram os pavimentos analisados?
- e) Em relação ao SN₄₀, em que condições se encontram os pavimentos analisados?
- f) Um mesmo pavimento pode apresentar condições satisfatórias se analisado pelo IFI e condições insatisfatórias se analisado pelo SN₄₀ ou vice-versa? Ou dois parâmetros encaminham-se para um mesmo diagnóstico?

1.3 Justificativa

Sabe-se que aspectos relativos à textura de um pavimento estão fortemente relacionados à segurança viária. Quando um veículo trafega em uma pista molhada, são geradas pressões hidrodinâmicas na área de contato pneu-pavimento. De acordo com a velocidade desenvolvida pelo veículo, as pressões podem aumentar, e, se a carga aplicada pelo peso do veículo aos pneus for menor que essa pressão, os pneus perdem o contato com o pavimento e deslizam, ocorrendo o fenômeno de hidroplanagem. Para evitar esse processo, a macrotextura é responsável pela drenagem da lâmina de água, enquanto a microtextura é capaz de romper a película de água e reestabelecer o contato pneu-pavimento (APS, 2006).

Contudo, ainda não é conhecida uma correlação entre os resultados de microtextura e de macrotextura que permita a previsão de um parâmetro a partir de dados sobre o outro, e vice-versa. Se encontrada, ela possibilitaria que o procedimento de avaliação da aderência de um pavimento fosse mais hábil, demandando menos ensaios, menos tempo, menos custos, menos mão-de-obra e menos transtornos para os usuários da via. Assim, busca-se determiná-la, a fim de contribuir na eficiência e na praticidade das atividades da gerência de pavimentos, e, por conseguinte, na segurança viária. Além disso, busca-se observar se um pavimento pode apresentar-se apto para o tráfego segundo o parâmetro do IFI, contudo apresentar-se inseguro, mediante análise pelo parâmetro do SN₄₀. Se isso acontecer, poderia ser questionada a

supremacia do IFI e indicada a necessidade de avaliação da resistência a derrapagem pelos dois parâmetros, pois um só não seria suficiente para indicar a segurança viária do pavimento.

1.4 Objetivos

Para este trabalho, foram traçados um objetivo geral e seis objetivos específicos.

1.4.1 Objetivo geral

Avaliar a resistência à derrapagem de revestimento flexíveis em serviço por meio dos parâmetros IFI e do SN₄₀

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar as condições de microtextura do pavimento;
- b) Avaliar as condições de macrotextura do pavimento;
- c) Analisar se há correlação entre os resultados da microtextura e de macrotextura do pavimento;
- d) Avaliar a segurança viária com base no cálculo do IFI;
- e) Avaliar a segurança viária através do cálculo do SN₄₀;
- f) Comparar os resultados obtidos pelo IFI e pelo SN₄₀.

1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. Após este capítulo introdutório, o Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica e está subdividido em quatro tópicos: o primeiro trata sobre a interação pneu-pavimento; o segundo apresenta informações sobre a textura superficial do pavimento, sendo dividido em macrotextura, microtextura e recomendações para os valores de textura; o terceiro trata sobre os parâmetros de análise da resistência a derrapagem, o IFI e o SN₄₀; e o quarto apresenta pesquisas já realizadas sobre a temática de estudo. O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada no trabalho, mostrando todos os procedimentos realizados, as considerações necessárias e eventuais limitações do

estudo. O Capítulo 4 traz os resultados encontrados, bem como uma análise acerca dos dados apresentados. O Capítulo 5 apresenta a conclusão e as sugestões para trabalhos futuros que complementem lacunas de pesquisa que não foram preenchidas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão apresentados conceitos e considerações importantes relativos à interação pneu-pavimento, a textura superficial do pavimento e à análise da segurança viária, bem como pesquisas relevantes já realizadas que envolvam essa temática.

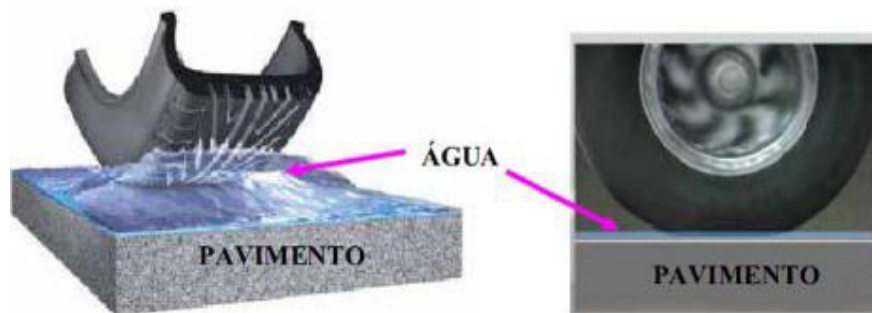
2.1 Interação pneu-pavimento

A aderência do pneu do veículo e da superfície do revestimento é uma das características mais importantes do revestimento asfáltico e está fortemente associada às condições de rolamento e à segurança da via. O revestimento tem a finalidade de proporcionar atrito e aderência adequados entre a superfície de rolamento e as rodas do veículo, independente das condições de planta, perfil e seção transversal da rodovia, de forma que garanta a segurança viária (DNIT, 2006). Características satisfatórias de aderência permitem conforto em condições adversas de trafegabilidade, como pista molhada e frenagens emergenciais, por exemplo. Assim, faz-se necessário entender quais aspectos interferem na aderência pneu-pavimento, como ela pode ser mensurada e como é feita sua classificação.

Para assegurar a boa interação pneu-pavimento, é necessário garantir boa qualidade da textura da superfície de rolamento. Em especial nos pavimentos aeroportuários, pode-se observar um preenchimento da textura pelo acúmulo de borracha devido a fricção dos pneus das aeronaves no momento do pouso, enfraquecendo, assim, o atrito pneu-pavimento, e, por consequência, favorecendo possíveis derrapagens de aeronaves (OLIVEIRA, 2009). Além disso, se a textura do pavimento não apresentar condições satisfatórias, quando associada a algum elemento lubrificante localizado entre o pneu e o pavimento, a área de contato pode diminuir e comprometer o controle do veículo por parte do motorista.

Em uma pista molhada, quando ocorre a aceleração do veículo, ocorre também a ascensão do fluido na parte anterior da roda. Essa agitação do fluido gera forças hidrodinâmicas que elevam parcial ou totalmente o pneu do veículo. É importante ressaltar que, quanto maior for a velocidade do veículo, maior será essa força hidrodinâmica gerada e menor o contato pneu-pavimento (Figura 1), podendo até cessá-lo, fenômeno conhecido como hidroplanagem. Contudo, vale lembrar que a diminuição da área de contato também sofre influência da altura da lâmina do fluido sobre o pavimento. (MATTOS, 2009)

Figura 1 - Interação Pneu-Pavimento



Fonte: SILVA (2008).

Além disso, pode ocorrer também uma borrifação de água atrás da roda capaz de comprometer a visibilidade dos veículos ao redor, fenômeno conhecido como *spray*. Durante a noite, o fluido acumulado na superfície de rolamento pode causar reflexão das luzes dos faróis e encadear os motoristas, atrapalhando e confundindo-os. (APS, 2006)

2.2 Textura superficial do pavimento

Segundo Aps (2006), as principais particularidades que interferem na boa, ou má, qualidade da textura são: a granulometria dos agregados e fíler; e a origem, forma dos agregados. O ligante asfáltico não tem grande influência na textura final do pavimento, sua importância maior se dá na resistência a desagregação dos agregados.

A PIARC (*World Road Association*) classifica a textura em função do comprimento de onda ou distância. Essa classificação, que resulta em quatro classes: microtextura, macrotextura, megatextura e irregularidade, foi especificada pela ASTM (1997) e as faixas de domínio de cada textura são apresentadas na Tabela 1.

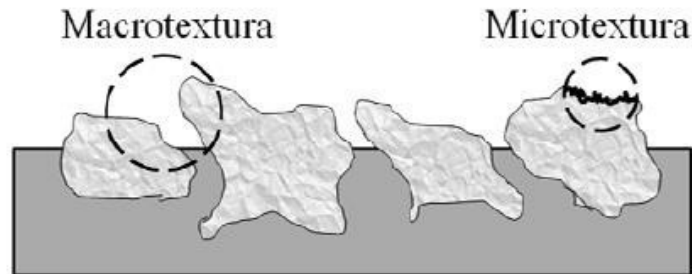
Tabela 1- Classes de Textura

Domínio	Intervalo de dimensões	
	Horizontal ↔	Vertical ↕
Microtextura	0 – 0,5 mm	0 – 0,2 mm
Macrotextura	0,5 mm – 50 mm	0,2 mm – 10 mm
Megatextura	50 mm – 500mm	1 mm – 50 mm
Irregularidade	0,5m – 50m	1 mm – 20cm

Fonte: ASTM (1997).

Informações sobre microtextura e macrotextura estão relacionadas à aderência e drenagem superficial do pavimento. Já a megatextura e irregularidade estão associadas à resistência ao rolamento, derivadas dos defeitos de superfície e da dinâmica veicular (SANDBERG; EJSFONT, 2002). Logo, para fins de avaliação da textura, que enfoque a aderência, são levantados apenas microtextura e macrotextura. A microtextura depende da aspereza dos agregados usados no revestimento, já a macrotextura depende da rugosidade apresentada pelo conjunto agregados e mástique asfáltico, conforme pode ser visualizado na Figura 2 (BERNUCCI *et al*, 2008).

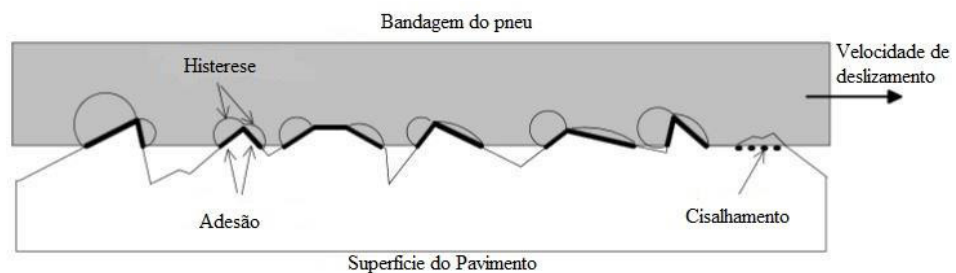
Figura 2 - Microtextura e macrotextura na superfície do pavimento



Fonte: MATTOS (2009).

A textura da superfície relaciona-se a três diferentes mecanismos: adesão, histerese e cisalhamento, conforme pode ser visualizado na Figura 3. O primeiro é proporcional à área efetiva de aderência entre pneu e a rugosidade da superfície. Já a força de histerese resultado da perda de energia devido a deformação da borracha do pneu sobre a superfície. A força de cisalhamento relaciona-se com a área de cisalhamento da bandagem do pneu. Comumente, a adesão e a histerese relacionam-se com microtextura e à macrotextura, respectivamente. (NCHRP, 2009, *apud* FERREIRA, 2016).

Figura 3- Esquema de interações que ocorrem na interface pneu-pavimento



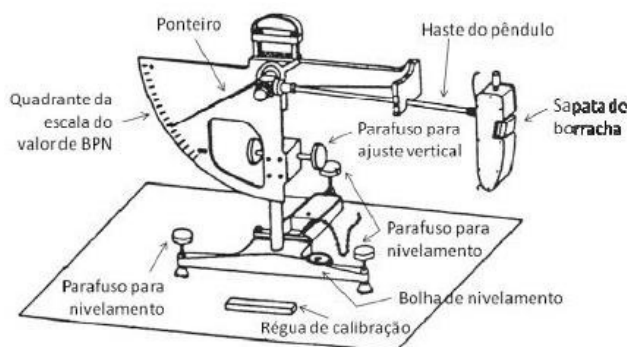
Fonte: Adaptado de Ferreira (2016).

2.2.1 Microtextura

No processo de hidroplanagem, a microtextura tem a propriedade de romper a película de água do contato pneu-pavimento e reestabelecer seu contato. Ela está associada à capacidade dos agregados de resistir ao polimento superficial e à rugosidade da superfície do agregado. Essa, que pode ser considerada rugosa ou polida, varia de acordo com a composição mineralógica e estrutura dos agregados. É difundido que a microtextura tem poder decisivo na resistência a derrapagem quando o veículo opera a velocidades inferiores a 50 km/h. Contudo, a dificuldade do rompimento da película de água intensifica-se com velocidades maiores, devido ao menor contato do pneu-pavimento, tendo a macrotextura a função de fazer a drenagem superficial do pavimento (MATTOS, 2009).

De acordo com DNIT (2006), o ensaio do Pêndulo Britânico é um dos métodos utilizados para mensurar a microtextura de um pavimento. O procedimento deve seguir as recomendações da ASTM (1998). O ensaio tem como base uma placa de borracha que simula a superfície do pneu entrando em contato com a camada de rolamento. É importante ressaltar que antes do ensaio, a superfície deve estar devidamente limpa e molhada, de forma que simule condições críticas do pavimento. A placa é montada no pêndulo que, quando liberada em queda livre, fricciona o pavimento e reproduz o movimento de um arco circular. A diferença de altura entre o centro de gravidade da placa de borracha tomada, antes e depois que ela tangencia a camada de rolamento, é subsídio para determinar a perda de energia devido à fricção. Ao fim do ensaio, após o atrito sobre a superfície induzir o pêndulo a empurrar a haste, o equipamento apresenta o Valor de Resistência à Derrapagem - VRD de um pneumático padrão, tangenciando e o friccionado o pavimento a 48 km/h. A Figura 4 mostra os elementos constituintes do Pêndulo Britânico.

Figura 4 – Pêndulo Britânico



Fonte: Adaptado de Lamm *et al.*(1999).

Em seguida, após encontrar o valor de VRD, é possível fazer a classificação da microtextura de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Classes de resistência à derrapagem / Pêndulo Britânico

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

Fonte: DNIT (2006).

Não existem normas regulamentadoras brasileiras que demarquem quais devem ser os valores de microtextura. Contudo, isso não impede que órgãos públicos ou pesquisadores do assunto façam suas recomendações para tais valores. O DNIT (2006) recomenda que o valor de VRD fosse igual ou superior a 55. Contudo, Bernucci *et al* (2008) faz menção a uma recomendação de VRD mínima de 47.

É importante comentar que más condições climáticas e o desgaste do revestimento causado pelo intenso fluxo de veículos podem se tornam fatores de risco à segurança viária. Pavimentos molhados tendem a ter o Valor de Resistência à Derrapagem (VRD) menor, quando comparado ao mesmo pavimento seco. Além disso, esse parâmetro também é reduzido a medida que a frota de veículos fricciona o revestimento. (MATTOS, 2009).

2.2.2 Macrotextura

A macrotextura depende da rugosidade formada pelo conjunto agregados e mástique. Ela é responsável pela aderência em médias e altas velocidades em pistas molhadas, uma vez que contribui para o escoamento de água acumulada entre o pneu e a superfície de rolamento, dificultando a ocorrência de hidroplanagem. Esse fenômeno pode ocorrer quando a

espessura da lâmina de água for superior a altura das saliências da rugosidade do pavimento. Logo, a avaliação periódica da macrotextura do pavimento contribui para proporcionar um melhor gerenciamento dos pavimentos, evitando fenômenos como esse, que comprometem a segurança da via. Além disso, ela influencia também na formação de *spray*, formação do espelho noturno, no aumento do consumo de combustível, no desgaste dos pneus e nos níveis de ruídos (SPECHT *et al.*, 2007).

Segundo Santos (2008), a qualidade da macrotextura resulta da combinação de diversos fatores, tais como: origem mineralógica dos agregados, processo de britagem dos agregados, projeto das misturas do revestimento, método de preparação do revestimento e método de execução do revestimento.

Para sua avaliação, DNIT (2006) recomenda o ensaio da Mancha de Areia concebido pela AFNOR (1999). Contudo, já existem recomendações brasileiras sobre o procedimento feitas pela ABNT (2016). Basicamente, o ensaio tem o objetivo de preencher os vazios da textura superficial do revestimento com um volume conhecido de um areia padrão, espalhando-a com movimento circulares para formar uma mancha em formato de círculo. Alguns momentos do ensaio podem ser visualizados na Figura 5.

Figura 5 - Ensaio da Mancha de Areia



Fonte: PEDER (2017).

Encontrado o valor da profundidade média da mancha de areia, *Hauter au Sable*, (HS), resultado final do ensaio, é possível fazer a classificação da macrotextura do pavimento, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Classes de macrotextura

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


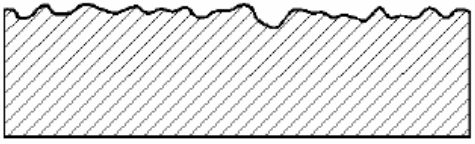
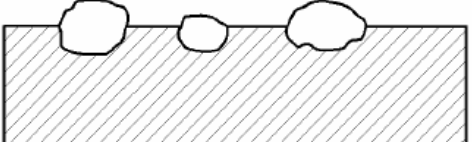
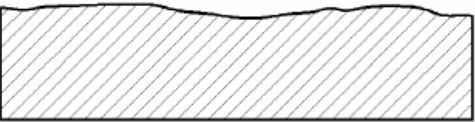
Fonte: DNIT (2006).

Em relação à macrotextura, Brousseau (2006) recomenda que o valor da macrotextura de pavimentos asfálticos fique entre 0,4 mm para garantir uma aderência aceitável e 0,7 mm para possibilitar uma boa drenagem superficial. Já o DNIT (2006) recomenda que o HS seja, no mínimo, 0,6 mm e, no máximo, 1,2 mm. Uma observação importante é que esses valores recomendados não fazem maiores distinções, como o tipo de revestimento superficial.

2.3 Análise da micro e macrotextura de forma conjunta

A microtextura pode ser caracterizada como rugosa ou polida, essa última também chamada de lisa. Já a macrotextura pode ser caracterizada como aberta ou grosseira e fechada ou fina. Assim, a superfície de rolamento, que resulta da combinação da microtextura e macrotextura, pode assumir quatro configurações: rugosa e aberta; rugosa e fechada; polida e aberta; e polida e fechada. A combinação pode ser mais bem visualizada na Tabela 4.

Tabela 4- Tipo de superfície em função da classe de micro e macrotextura

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

Fonte: APS (2006).

Esdu (1971, *apud* SANTOS, 2004) faz comentários mais detalhados sobre os quatro cenários de superfícies apresentadas:

- a) **Textura rugosa e aberta:** Esta superfície permite uma grande adesão pneu-pavimento. Além disso, essa configuração apresenta uma grande perda de energia na deformação da borracha dos pneus, devido ao atrito gerado com a superfície, quando a mesma tenta acompanhar as saliências do piso. Pavimentos desse tipo não sofrem perda expressiva de atrito na presença de água, permitindo o escoamento do fluido durante o rolamento do pneu sobre o pavimento, em diferentes velocidades de deslocamento. Esse tipo de superfície caracteriza pistas recém implantadas, onde os agregados não apresentam desgastes consideráveis, ou pistas de materiais mais resistentes, capazes de manter boas condições de atrito por mais tempo.
- b) **Textura rugosa e fechada:** Esta superfície caracteriza pavimentos típicos, recém-construídos. Em pistas secas, o coeficiente de atrito é alto devido rugosidade da microtextura. Em pistas molhadas, o pneu apresenta desempenho de frenagem satisfatório. Contudo, por apresentar macrotextura fechada, o escoamento de água superficial fica comprometido, uma vez que os canais de escoamento se limitam as ranhuras dos pneus e a inclinação do pavimento. Esse fato, somado com o aumento da velocidade do veículo, é capaz de diminuir o valor do coeficiente de atrito.
- c) **Textura rugosa e fechada:** Essa superfície possui um valor de atrito inferior por adesão, uma vez que a borracha do pneu apresenta dificuldade de aderência à microtextura, que, nesse caso, apresenta-se como a parte mais suave do revestimento. Em pistas molhadas, a maior parte da força de frenagem é de responsabilidade do atrito por histerese. Assim, pneus feitos de materiais que alcancem altos valores de coeficiente de atrito possuem melhor desempenho nesse tipo de superfície. A microtextura aberta contribui para o escoamento de água superficial, fundamental para diminuir as chances de hidroplanagem. Contudo, na presença de grandes espessuras de lâminas d'água e com o aumento de velocidade dos veículos, o fenômeno ainda está passível de acontecer.
- d) **Textura polida e fechada:** Essa superfície apresenta menor valor de atrito em pistas molhadas, possuindo baixo índice de atrito por adesão e sendo incapaz de escoar a água superficial. Em pista secas, o valor de frenagem é reduzido, apresentando baixos valores de atrito por adesão e por histerese, dificultando frenagens emergenciais. Com o desgaste da microtextura e da macrotextura,

podem-se ser acumulados resíduos na superfície, que começam a preencher as falhas da textura do pavimento. Pavimentos que apresentem essa configuração necessitam de ações de manutenção ou restauração, a fim de restabelecer a segurança viária.

É importante mencionar que mesmo o pavimento apresentando condições adequadas de microtextura e de macrotextura, a aderência pneu-pavimento ainda pode ser afetada. Fatores contaminantes, tais como: areia, poeira, óleo, ou outros fluidos, podem reduzir, em média de 15 a 20%, podendo chegar até a 50% com a presença de lâminas de água na camada de rolamento. (KOKKALIS e PANAGOULI, 1998)

A boa qualidade da microtextura, ou da macrotextura, de forma isolada, não é suficiente para garantir a segurança viária, é necessário analisar as duas de forma conjunta. Harmonizando os resultados dos principais parâmetros de avaliação da textura: micro e macrotextura, a *World Road Association* (PIARC) criou o *Internacional Friction Index* (IFI). Através do cálculo do IFI, obtém-se o coeficiente de atrito à velocidade padronizada de 60 km/h, contudo, segundo APS (2006), é possível ainda encontrar um valor equivalente para diferentes velocidades. A partir do resultado, podem-se estabelecer intervenções e estratégias necessárias para a reparação do pavimento, sem ter que reconstruí-lo totalmente. Outra finalidade é o uso desse parâmetro em estudos de acidentes. (MATTOS, 2009). Além deste, existe outro parâmetro que pode ser utilizado como direcionamento para indicar possíveis falhas no pavimento: o SN (*Skid Number*), que representa a resistência à derrapagem em pavimentos molhados para a velocidade de 40 Km/h. Esse parâmetro também é encontrado a partir da harmonização de dados da microtextura e da macrotextura.

2.3.1 Cálculo e Classificação do Internacional Friction Index (IFI)

Esse indicador tem como referência a velocidade de 60 km/h. Assim, primeiramente, segundo a ASTM (1998), deve-se calcular a constante de referência de velocidade (S_p), obtida a partir dos valores de macrotextura e de constantes relacionadas ao método utilizado para obtê-los, conforme Equação 1.

$$S_p = a + b \times TX \quad (1)$$

Onde:

S_p = constante de referência de velocidade;

a e b = constantes de calibração em função do método utilizado para obtenção da macrotextura;

TX = valor da macrotextura obtido.

Os valores das constantes a e b variam de acordo com o método escolhido para a realização do ensaio de macrotextura, podendo ser consultados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores das constantes a e b para a estimar a constante S_p

Método de Ensaio / Norma	a	B
Perfilômetro Laser / ASTM E 185	14,2	89,7
Mancha de Areia / ASTM E 965	-11,6	113,6

Fonte: ASTM (1998).

Feito isso, utiliza-se o valor de S_p para encontrar o valor do atrito ajustado para a velocidade de 60 km/h (FR_{60}), conforme Equação 2.

$$FR_{60} = FRS \times e^{\left[\frac{S-60}{S_p}\right]} \quad (2)$$

Onde:

FR_{60} = valor de atrito ajustado para a velocidade de 60 km/h;

FRS = valor de microtextura obtido com um dos equipamentos homologados;

S = velocidade de referência para o tipo de equipamento utilizado;

S_p = constante de referência de velocidade.

Em seguida, obtém-se o atrito harmonizado para a velocidade de 60 km/h em função da medida de macrotextura (TX) e do valor encontrado para FR_{60} , conforme Equação 3.

$$F_{60} = A + B \times FR_{60} + C \times TX \quad (3)$$

Onde:

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

A, B e C = constantes de acordo com o equipamento utilizado;

FR₆₀ = valor de atrito ajustado para a velocidade de 60 km/h;

TX = valor da macrot textura obtido.

Os valores de A, B e C podem ser consultados na Tabela 6, que também expõe a velocidade de referência cada tipo de equipamento (S), que deve ser adotada na Equação 2.

Tabela 6 - Valores de S, A, B e C, de acordo com os equipamentos calibrados pelos modelos da PIARC (Continua)

Características	Equipamento	S	A	B	C
Roda Bloqueada	ASTM E – 274 (USA)	65	0,045	0,925	0
	LCPC Skid Trailer (F)	60	0,002	1,008	0
	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	60	0,022	0,050	0,082
	Skiddometer (CH)	60	0,026	0,504	0,099
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	60	-0,072	0,767	0,086
	ASTM E -274 (USA)	65	-0,023	0,607	0,098
	Friction Tester (PL)	60	-0,025	0,807	0,068
Roda Parcialmente Bloqueada	OSCAR at 86% (N)	52	-0,03	0,864	0
	OSCAR at 20%(N)	12	0,119	0,643	0
	Komatsu Skid Trailer (J)	10	0,042	0,849	0
	DWW Trailer (NL)	43	0,019	0,868	0
	Griptester (UK)	9,4	0,082	0,910	0
	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	12	0,141	0,323	0,074
	Skiddometer (CH)	12	0,030	0,918	-0,014
	BV – 11 (S)	12	0,040	0,856	0,016
Roda Oblíqua	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	12	0,020	0,867	-0,006
	Stradograph (DK)	12,5	0,054	0,770	0
	Odoliograph Wallon (B)	12,9	0,113	0,729	0
	Odoliograph CRR (B)	20,5	0,113	0,746	0
	SCRIM CEDEX (E)	20,5	0,019	0,813	0
	SCRIM MOPT (E)	20,5	0,032	0,873	0
	SCRIM SRM (D)	20,5	0,017	0,850	0
	SCRIM GEOCISA (E)	20,5	0,021	0,928	0
	SCRIM (F)	20,5	-0,006	0,862	0
	SUMMS (I)	20,5	0,002	0,987	0
	SCRIMTEX (UK)	17,1	0,033	0,872	0

Tabela 6 - Valores de S, A, B e C, de acordo com os equipamentos calibrados pelos modelos da PIARC (Conclusão)

Características	Equipamento	S	A	B	C
Estáticos	DF Tester at 60 km/h (J)	60	-0,034	0,771	0
	DF Tester at 20 km/h (J)	20	0,081	0,732	0
	Pendulum Tester BPT (USA)	10	0,056	0,008	0
	Pendulum Tester SRT (CH)	10	0,044	0,010	0

Fonte: ASTM (1998).

Após determinar o valor do atrito harmonizado para a velocidade de 60 km/h (F_{60}) e a previsão do valor da velocidade calibrada (S_p), é possível apresentar o IFI. A forma padrão de exibir o valor do índice combinado é: IFI (F_{60} ; S_p). Contudo, também se pode obter o valor de IFI para diferentes velocidades de deslocamento (S), a partir da Equação 4.

$$FS = F_{60} \times e^{\left[\frac{60-S}{S_p}\right]} \quad (4)$$

Onde:

FS = valor do atrito harmonizado para uma determinada velocidade;

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

S = velocidade de deslocamento;

S_p = constante de referência da velocidade.

Visando garantir às condições de segurança viária do pavimento, principalmente em situações de pavimentos molhados e em frenagens emergenciais, há algumas recomendações para o valor desse parâmetro. O DNIT (2006) recomenda a faixa de valores expostas por Aps, em sua segunda tentativa. Contudo, essa classificação avançou e encontra-se em sua quarta tentativa, resultando em sete faixas. Esses valores estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Faixas de classificação do IFI, propostas na quarta tentativa de APS

<i>Condição</i>	<i>Limites do IFI</i>
Péssimo	<0,05
Muito Ruim	0,06 a 0,08
Ruim	0,09 a 0,11
Regular	0,12 a 0,14
Bom	0,15 a 0,21
Muito Bom	0,22 a 0,35
Ótimo	>0,35

Fonte: APS (2006).

Bucharles (2014) observou que a classificação exibida na Tabela 7 é confusa, pois é difícil distinguir quando a condição do pavimento está péssima ou muito ruim, e ótima ou muito boa. Assim, ele sugeriu que a classificação da aderência pneu-pavimento, a partir do cálculo do IFI, seja feita com base na Tabela 8, em cinco faixas.

Tabela 8 - Faixas de classificação do IFI

<i>Condição</i>	<i>Limites do IFI</i>
Muito Ruim	<0,08
Ruim	0,09 a 0,11
Regular	0,12 a 0,14
Bom	0,15 a 0,21
Muito Bom	> 0,22

Fonte: BUCARLES (2014).

2.3.2 Cálculo e Classificação do SN_{40}

Sabendo que os equipamentos mais utilizados em campo para avaliar a textura do pavimento são os portáteis: Pêndulo Britânico, responsável por mensurar a microtextura, e Mancha de Areia, responsável por mensurar a macrotextura, a partir do resultado desses ensaios, é possível determinar a resistência à derrapagem em pavimentos molhados para a velocidade de 40 Km/h, conforme Equação 5. Essa equação foi proposta por Kokkalis e Panagouli (1998), e valores médios de resistência a derrapagem (*Skid Number-SN*) para diferentes condições da superfície do pavimento são expostos na Tabela 9.

$$SN_{40}=0,884 \times BPN+ 5,16 \times HS - 17,8 \quad (5)$$

Onde:

SN_{40} = *Skid Number*, resistência a derrapagem para a velocidade de 40 Km/h;

BPN = *British Pendulum Number*, sendo representado pelo Valor de Resistência a Derrapagem-VRD, obtido pelo Pêndulo Britânico;

HS = *Hauter au Sable*, sendo representado pela altura média da mancha de areia

Tabela 9 - Valores médios de resistência a derrapagem (SN) para diferentes condições da superfície do pavimento flexível

<i>Condições do pavimento</i>	<i>Skid Number(SN)</i>
Exsudado com falta de micro/macrotextura	20
Polido em termos de microtextura	25
Situação típica	40
Gasto em termos de macrotextura	60
Apresentando boa micro/macrotextura	70

Fonte: KOKKALIS e PANAGOULI (1998).

Uma observação importante, e até uma crítica sobre o método de classificação desse parâmetro, é que ele indica valores pontuais e não faixas de valores para cada classe. Assim,

torna-se confuso classificar as condições superficiais dos pavimentos que apresentam resultados fora desses valores e entre eles.

2.4 Pesquisas relacionadas sobre o tema

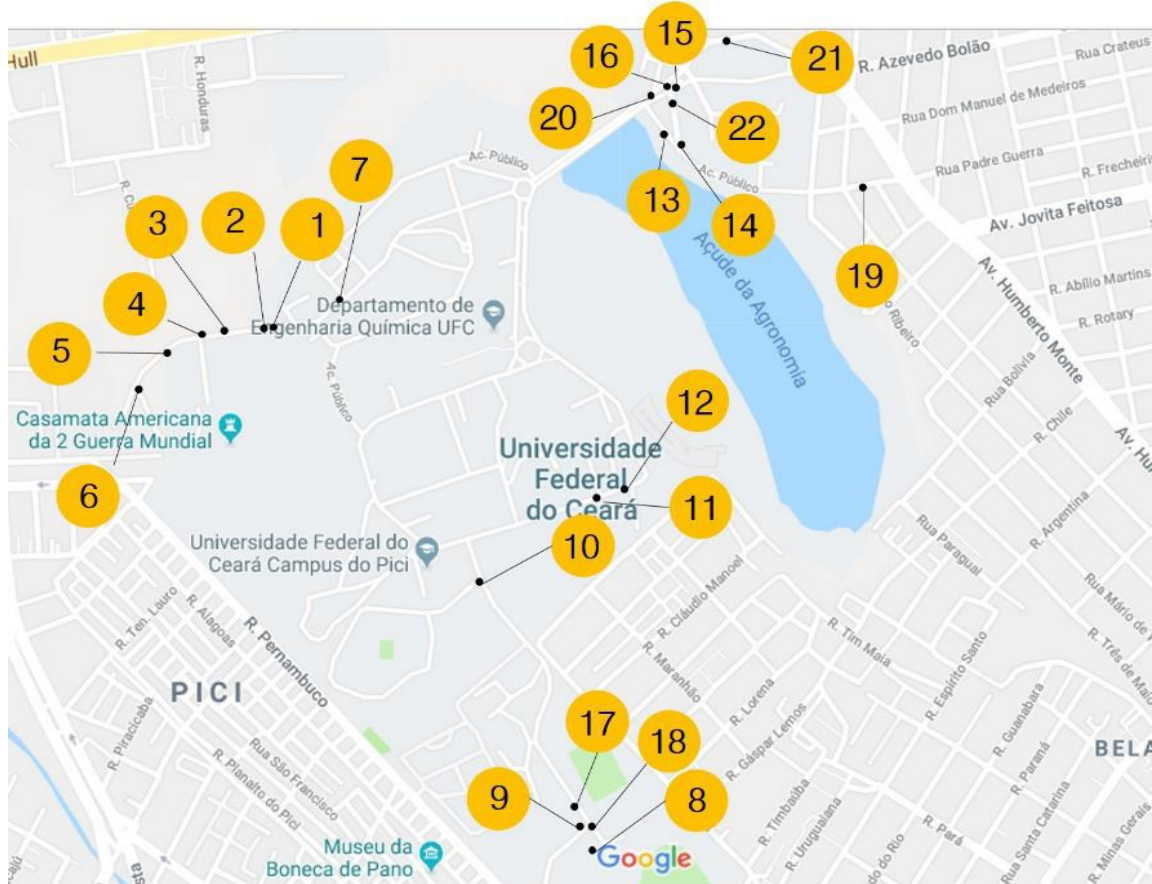
Sobre a aderência pneu-pavimentos e a textura do pavimento, já foram desenvolvidos diversos trabalhos. Mattos (2009) avaliou a aderência pneu-pavimento em pontos estudados da rodovia BR-020 em termos de microtextura, macrotextura e a combinação das duas através do IFI. Além disso, contribuiu desenvolvendo um modelo que correlaciona o valor dos resultados do ensaio da Mancha de Areia com o drenabilidade, possibilitando estimar o valor de IFI com a utilização do Drenômetro. Aps (2006) contribuiu estabelecendo critérios e faixas de recomendação para os valores de IFI que garantem uma boa aderência, possibilitando que o IFI seja usado como uma ferramenta para a gerência de pavimentos.

Bezerra Filho e Oliveira (2013) fizeram a análise da correlação entre a macrotextura e o coeficiente de atrito em pavimentos aeroportuários, não encontrando uma correlação satisfatória devido à grande variação dos resultados. Também se pode citar o trabalho de Menezes (2018) que teve como objetivo avaliar os parâmetros de macrotextura e de coeficiente de atrito e a sua influência para o Índice Internacional de Atrito (*International Friction Index – IFI*), fazendo um estudo de caso em alguns aeroportos do nordeste brasileiro. Embora se tenha notado estudos variados sobre a temática envolvendo os parâmetros de aderência, não há estudos relevantes sobre a existência de um modelo matemático que descreva o comportamento da relação entre microtextura e macrotextura, apresentando-se como uma lacuna que precisa ser explorada.

3 METODOLOGIA

Para verificar a correlação que envolve o IFI e o SN_{40} , inicialmente foi feita, conforme descrita no Capítulo 2, uma revisão bibliográfica acerca do conteúdo, a fim de familiarizar-se com os conceitos, definições, propriedades, classificações e recomendações da interação pneu-pavimento. Feito isto, foram escolhidos 22 pontos diferentes (Figura 6) de revestimento asfáltico no interior da Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici.

Figura 6 - Localização dos 22 revestimentos escolhidos dentro da UFC (*Campus Pici*)



Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

Durante a escolha, preferiram-se marcar pontos em locais que apresentasse, visualmente, as mais diversas condições de textura. Além disso, evitou-se a realização de ensaios em locais que apresentassem alguma irregularidade ou defeitos, tais como fissuras, trincas, ondulações e panelas.

Nos pontos escolhidos, primeiramente foi realizado o ensaio da Mancha de Areia, para determinação da macrotextura, tendo como referência a NBR 16504 (ABNT, 2016).

Para realização do ensaio, os equipamentos usados foram:

- a) Pincel para limpeza da superfície;

- b) Volume de areia (25 cm³) com granulometria padronizada (passante na peneira 0,315 mm e retida na peneira 0,160 mm);
 - c) Soquete com base circular (64 mm de diâmetro) e revestida de borracha (1,5mm de espessura);
 - d) Régua para medir o diâmetro da mancha de areia, com precisão em milímetros
 - e) Suporte de madeira em formato quadrado para delimitar a área do ensaio
 - f) Giz branco ou Tinta Spray, para fazer eventuais marcações.
- Alguns dos materiais utilizado pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7 – Areia, soquete, pincel e régua utilizados no ensaio de Mancha de Areia



Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

A sequência do procedimento é a seguinte:

- a) Inicialmente, a superfície de rolamento é limpa com o auxílio da escova
- b) Em seguida, foi marcado com o auxílio de tinta *spray* ou giz escolar, e um suporte quadrado de madeira a área delimitada onde seria feita o ensaio;
- c) No centro da área delimitada, foi despejado com cuidado os 25 cm³ de areia padronizada;
- d) Em seguida, com o auxílio do soquete, são feitos movimento circulares que resulta em uma mancha de areia semelhante ao formato de um círculo;
- e) Com o auxílio de uma régua, são realizadas 3 medições do diâmetro da mancha de areia e feito a média aritmética delas;

f) De posse do valor da média aritmética, é possível obter a altura média de areia, que é o objeto do resultado final do ensaio, com o auxílio da Equação 1.

$$HS = \frac{100}{\pi \times D^2} \quad (1)$$

Onde:

HS = *Hauter au Sable*, altura da mancha de areia (mm);

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

Momentos do Ensaio de Mancha de Areia podem ser visualizados na Figura 8.

Figura 8 - Sequência do Ensaio de Mancha de Areia



Fonte: Elaborado pela a autora(2018).

A classificação da macrotextura foi feita com base nas indicações do DNIT, conforme Tabela 3. Esse órgão recomenda que o valor da profundidade de areia esteja entre 0,6 mm a 1,2mm, apresentando assim classificação média a grosseira.

Finalizado o ensaio da Mancha de Areia, na sequência, foi feito o ensaio do Pêndulo Britânico, tendo como referência a norma americana ASTM (2013). O Pêndulo Britânico utilizado pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9- Pêndulo Britânico utilizado



Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

A sequência do procedimento é a seguinte:

- a) Primeiramente a superfície é limpa e o equipamento montado é colocado no centro da área delimitada a fazer ensaio;
- b) Em seguida, é feito o nivelamento da bolha do equipamento e o ajuste do ponteiro (Figura 10(a), Figura 10(c) e Figura10(d));
- c) É feito o ajuste da área de contato da sapata de borracha com o pavimento (Figura 10(b));
- d) A superfície é molhada;
- e) O pêndulo é solto livremente em direção ao pavimento 5 vezes, considerando apenas as 4 últimas medidas para ser feita uma média aritmética e determinado o valor de VRD.

Alguns momentos do Ensaio do Pêndulo Britânico podem ser visualizados na Figura 10.

Figura 10- Etapas do Ensaio do Pêndulo Britânico

Figura 10 (a)



Figura 10 (b)



Figura 10 (c)



Figura 10 (d)



Fonte: Elaborado pela a autora(2018).

A classificação da microtextura foi feita com base nas indicações do DNIT (2006), conforme Tabela 2. Esse órgão recomendou que o valor do VRD seja igual ou superior a 55, apresentando superfície medianamente rugosa a rugosa.

Os ensaios de Mancha de Areia e do Pêndulo Britânico foram feitos no mesmo dia, pois era importante garantir que a superfície de rolamento analisada estivesse submetida aos mesmos esforços e sido exposta ao mesmo fluxo veicular desde a sua implementação até a realização dos dois ensaios. Uma observação importante é que o Pêndulo Britânico possuía uma caixa de dimensões: 72,5 cm, 36 cm, 74 cm, onde ele precisa ser guardado para seus deslocamento. A caixa, somado ao pêndulo, pesava 33,20kg e apenas o pêndulo 12,36kg.

Devido à dificuldade de locomoção dos aparelhos por uma só pessoa, os ensaios e transporte do material foram realizados por 3 pessoas.

Em campo, foi necessário a paralisação de uma faixa do tráfego para garantir a integridade dos equipamentos e dos operadores, causando incômodo ao usuário da via. Pois, onde as vias tinham duas faixas de tráfego por sentido, o fluxo veicular precisou se ajustar a apenas uma faixa e, onde as vias tinham apenas uma faixa de tráfego por sentido, os veículos esperavam brechas na contramão para contornar os equipamentos do ensaio. Além disso, o processo de nivelamento e de calibração do equipamento do Pêndulo Britânico era minucioso, o que tornava o processo cansativo.

O total de tempo de interdição do tráfego na área necessária para os ensaios foi de 31 minutos. Por esses motivos e prezando a segurança de todos, preferiu-se realizar todos ensaios dentro da Universidade Federal do Ceará - *Campus Pici*, onde o trânsito é local e, aparentemente, o acesso de pessoas e veículos é controlado.

Finalizados os ensaios e determinados os valores de microtextura e de macrotextura, os dados foram inseridos no EXCEL e gerados gráficos de dispersão, a fim de obter o valor do coeficiente de determinação (R^2), a equação de correlação e analisá-los. A correlação será classificada com base na Tabela 10. O coeficiente de determinação (R^2) é a porcentagem da variação da variável dependente explicada pela variável independente. Essa variável varia entre 0 e 1, portanto quanto maior o R^2 , mais explicativo é o modelo e melhor ele se ajusta à amostra.

Tabela 10 - Classificação do coeficiente de determinação R^2

<i>Correlação</i>	<i>Coeficiente</i>
Nula	$R = 0$
Fraca	$0 < R \leq 0,30$
Média	$0,30 < R \leq 0,70$
Forte	$0,70 < R \leq 0,90$
Fortíssima	$0,90 < R \leq 0,99$
Perfeita	$R = 1$

Fonte: Adaptado de Dantas (1998, *apud* COUTINHO, 2012).

Também foi feita a avaliação da segurança viária com base no cálculo do IFI e do SN_{40} , e comparados os respectivos resultados. Para o cálculo do SN_{40} , foi utilizada a Equação 5, e, em seguida, o resultado foi classificado de acordo com as informações da Tabela 9. Como não existem faixas para cada classe e sim valores pontuais, valores diferentes dos indicados foram associados ao valor da classe mais próximas para efeitos de classificação. Já o cálculo do IFI necessita a utilização de mais Equações. Primeiramente, é encontrada a constante de referência de velocidade (S_p), conforme Equação 1. As constantes de calibração a e b utilizadas foram retiradas da Tabela 5 e são, respectivamente, -11,6 e 113,6, pois o método para a obtenção da macrotextura foi o da Mancha de Areia.


Em seguida, utilizou-se o valor de S_p para encontrar o valor do atrito ajustado para a velocidade de 60 km/h (FR_{60}), conforme Equação 2. O próximo passo foi obter o atrito harmonizado para a velocidade de 60 km/h, conforme Equação 3. Os valores de A, B, C e S utilizados foram, respectivamente, 0,056; 0,008; 0 e 10.

Após determinar o valor do atrito harmonizado para a velocidade de 60 km/h (F_{60}) e a previsão do valor da velocidade calibrada (S_p), foi possível, finalmente, exibir o valor de IFI. A forma padrão de exibir o valor do índice combinado é: IFI (F_{60} ; S_p). Em seguida, também foi calculado o valor de IFI para uma velocidade de 40km/h, F_{40} , com base na Equação 4.

4 RESULTADOS

A Tabela 11 apresenta a imagem, e os resultados do Ensaio de Mancha de Areia e do Pêndulo Britânico para o pavimento representado pelo Ponto 1, bem como suas respectivas classificações de acordo com o DNIT. Foi feita uma tabela com esses dados para cada um dos 22 pavimentos analisados, e elas podem ser consultadas no APÊNDICE A - DADOS E INFORMAÇÕES SOBRE A MACROTEXTURA E MICROTETURA DOS 22 PAVIMENTOS ANALISADOS.

Tabela 11 – Dados de macrotextura e microtextura do Ponto 1

PONTO 1		
	Macrotextura	
	D1 (mm)	22,7
	D2 (mm)	20,2
	D3 (mm)	21,5
	D4(mm)	21,8
	Dmédio	21,5
	HS (mm)	0,69
	Classificação	Média
	Microtextura	
	VRD1	44
	VRD2	47
	VRD3	45
	VRD4	44
	VRD5	44
VRD	45	
Classificação	Insuficientemente rugosa	

Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

Os resultados de macrotextura, obtido pelo Ensaio de Mancha de Areia, e de microtextura, obtido pelo Pêndulo Britânico, bem como suas respectivas classificações são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados dos Ensaios de Mancha de Areia e do Pêndulo Britânico

PONTO	HS	CLASSIFICAÇÃO	VRD	CLASSIFICAÇÃO
1	0.69	Média	45	Insuficientemente rugosa
2	0.65	Média	46	Insuficientemente rugosa
3	1.11	Aberta	60	Rugosa
4	1.11	Aberta	40	Insuficientemente rugosa
5	0.66	Média	49	Medianamente rugosa
6	1.24	Muito aberta	36	Lisa
7	0.55	Média	40	Insuficientemente rugosa
8	0.83	Aberta	56	Rugosa
9	0.55		50	Medianamente rugosa
10	0.81	Aberta	41	Insuficientemente rugosa
11	0.53	Média	55	Rugosa
12	0.62	Média	57	Rugosa
13	0.76	Média	57	Rugosa
14	0.25	Fechada	52	Medianamente rugosa
15	1.45	Muito aberta	41	Insuficientemente rugosa
16	0.36	Fechada	60	Rugosa
17	1.58	Muito aberta	60	Rugosa
18	1.00	Aberta	52	Medianamente rugosa
19	0.72	Média	49	Medianamente rugosa
20	0.84	Aberta	42	Insuficientemente rugosa
21	1.36	Muito aberta	31	Muito rugosa
22	0.59	Média	38	Lisa

Legenda: Condição satisfatória Condição não satisfatória

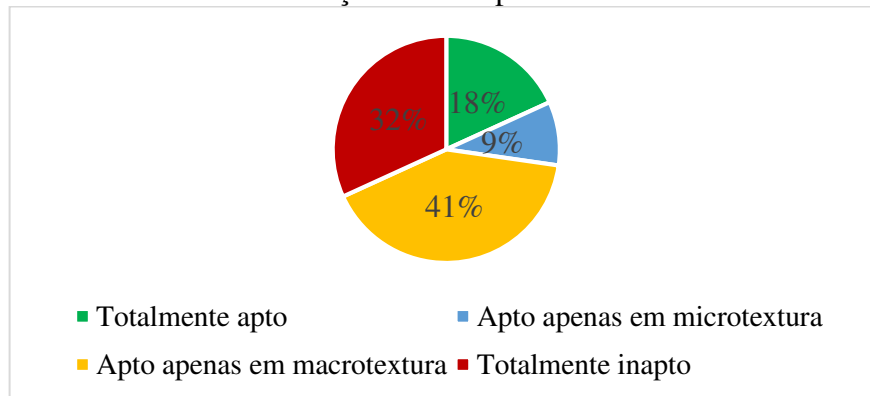
Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

Os revestimentos representados pelos Pontos 6, 7, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 21 e 22 apresentam profundidade de média (HS) de acordo com os limites recomendados pelo DNIT, que é de 0,6 mm a 1,2mm. Já os pavimentos representados pelos Pontos 1, 2, 3, 4, 5, 8,10, 12,13,18,19 e 21 apresentam condições satisfatórias de macrotextura, segundo a classificação do DNIT.

Os revestimentos representados pelos Pontos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22 apresentam o Valor de Resistência a Derrapagem (VRD) abaixo de 55, que é o limite mínimo recomendado pelo DNIT (2006). Já os pontos 3, 8, 12, 13, 16 e 17 apresentam condições satisfatórias de microtextura, segundo a classificação do DNIT. Assim, observou-se que apenas os revestimentos representados pelos Pontos 3, 8, 12 e 13 apresentavam boas

condições de segurança viária, se analisados pelos dois parâmetros, representando 18% da amostra. Os revestimentos representados pelos Pontos 6, 7, 9, 11, 14, 15, 21 e 22 apresentam tanto condições de microtextura quanto de macrotextura insatisfatórias, representando 32% da amostra. E o restante dos revestimentos apresentam-se inseguros em pelo menos um dos quesitos: 9% da amostra apresentam boas condições apenas observando a microtextura e 41%, apenas a macrotextura. Essas informações podem ser melhor visualizadas no Gráfico 1.

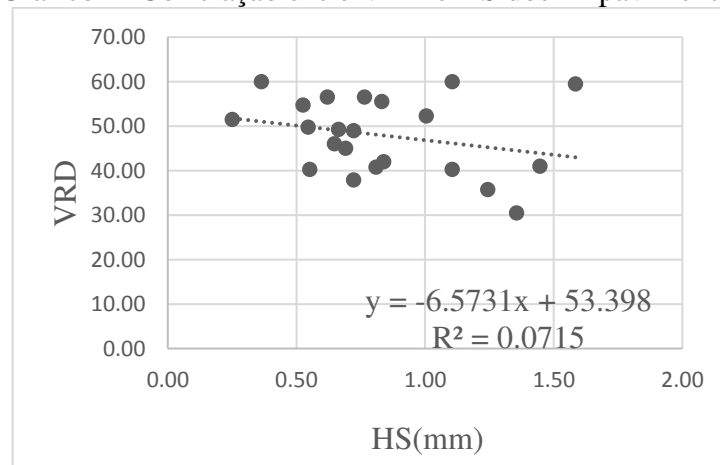
Gráfico 1 - Condições dos 22 pavimentos analisados



Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

Foi plotado um gráfico de dispersão no EXCEL (Gráfico 2), a partir dos dados da profundidade média (HS) e do Valor de Resistência a Derrapagem (VRD) obtidos nos 22 revestimentos. A correlação encontrada está expressa pela Equação 7.

Gráfico 2- Correlação entre VRD e HS dos 22 pavimentos



Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

$$y = f(x) = - 6.5731x + 53.398 \quad (7)$$

Onde:

y = Valor de Resistência a Derrapagem;

x = profundidade média, em mm.

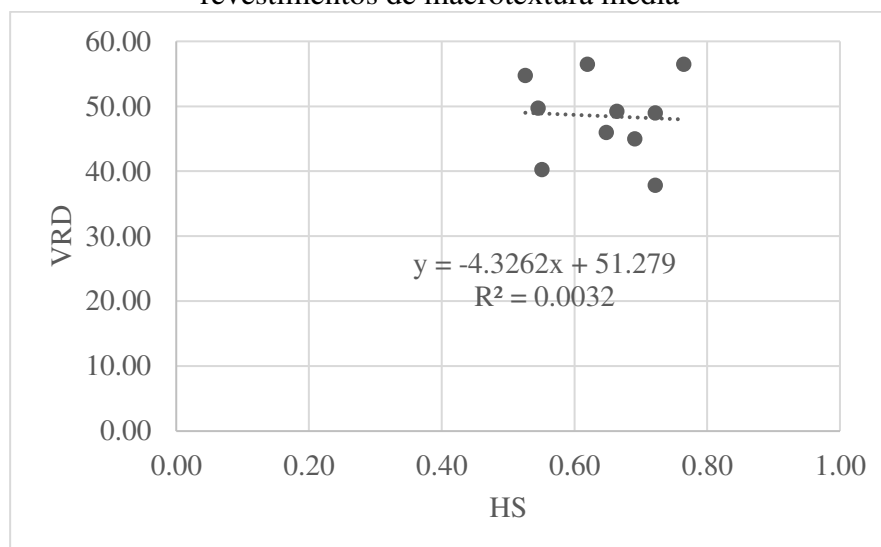
O coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 0,0715, sendo classificada como fraca. Observando a Tabela 12, nota-se que, nos Pontos 3 e 4, a profundidade média encontrada é numericamente igual, 1,11. Logo, esperava-se que nesses pontos os resultados de microtextura fossem idênticos ou próximos se houvesse uma correlação significativa, contudo, isso não aconteceu. Os valores de microtextura foram, respectivamente, 60 e 40, variando 33,3% entre si. No ponto 7, onde o VRD encontrado também foi igual a 40, a profundidade média, obtida foi de 0,55mm, aproximadamente metade do valor do Ponto 4, onde o VRD também foi igual a 40. Nos pontos 12 e 13, obteve um mesmo valor de VRD, igual a 57. Contudo os valores da altura de areia foi de, respectivamente, 0,62mm e 0,76mm, variando 18,4% entre si.

Ainda observando o Gráfico 2, notou-se que quatro pontos incidem sobre a linha de tendência, são os revestimentos dos Pontos: 5, 9, 14 e 19. Esses pontos foram identificados para investigar possíveis características que justificassem sua forte correlação entre microtextura e macrotextura, como, por exemplo, sua proximidade geográfica. Essa proximidade poderia indicar que os pavimentos pudessem ter sido implantados com o mesmo tipo de revestimento ou estarem submetidos a um fluxo veicular parecido. Contudo, observando o mapa, apresentado na Figura 6, nota-se que eles estão bem dispersos geograficamente. Logo, essa hipótese não foi confirmada. Também foram observadas as faixas de classificação de macrotextura que estão enquadradas, para verificar se uma determinada faixa pudesse ter tendências de desempenho de microtextura. Os Pontos 5, 9 e 19 estão na faixa média e o Ponto 14 na faixa fechada. Assim, foi feita a investigação de correlação de acordo com sua faixa de macrotextura, para saber se determinadas faixas de macrotextura pudessem ter tendências de desempenho de microtextura.

Analisados os dados dos pavimentos que apresentaram macrotextura fechada, apenas os Pontos 15 e 16 se enquadram nessa faixa. Logo, um gráfico a partir dos dados desses dois pontos certamente seria uma reta e apresentaria um coeficiente de determinação igual a 1, sendo classificada como uma correlação perfeita. Logo, para um resultado significativo seriam necessários mais pontos.

Seguindo a análise, o Gráfico 3 apresenta a correlação entre os pavimentos de macrotextura média, sendo eles representados pelos Pontos 1, 2, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 19 e 22.

Gráfico 3- Correlação de microtextura e macrotextura em revestimentos de macrotextura média

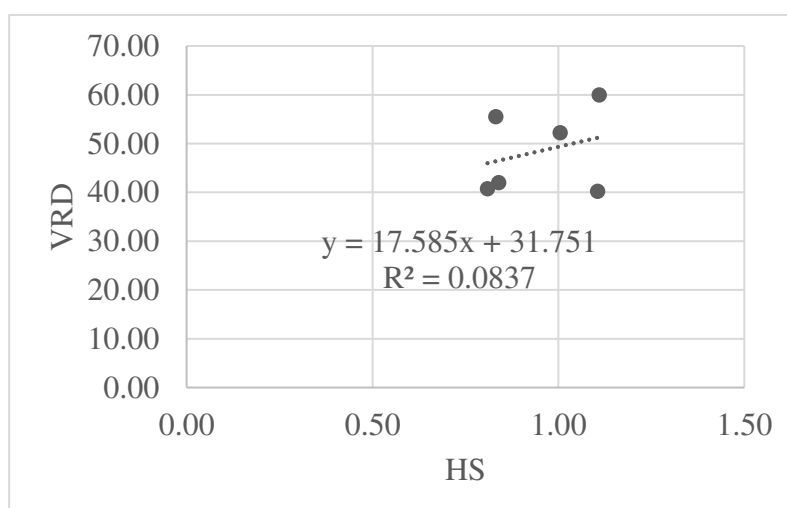


Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

A correlação pode ser classificada como nula, pois o R^2 encontrado foi igual a 0,0032.

Seguindo a análise, o Gráfico 4 apresenta a correlação entre os pavimentos de macrotextura aberta.

Gráfico 4 - Correlação de microtextura e macrotextura em revestimentos de macrotextura aberta

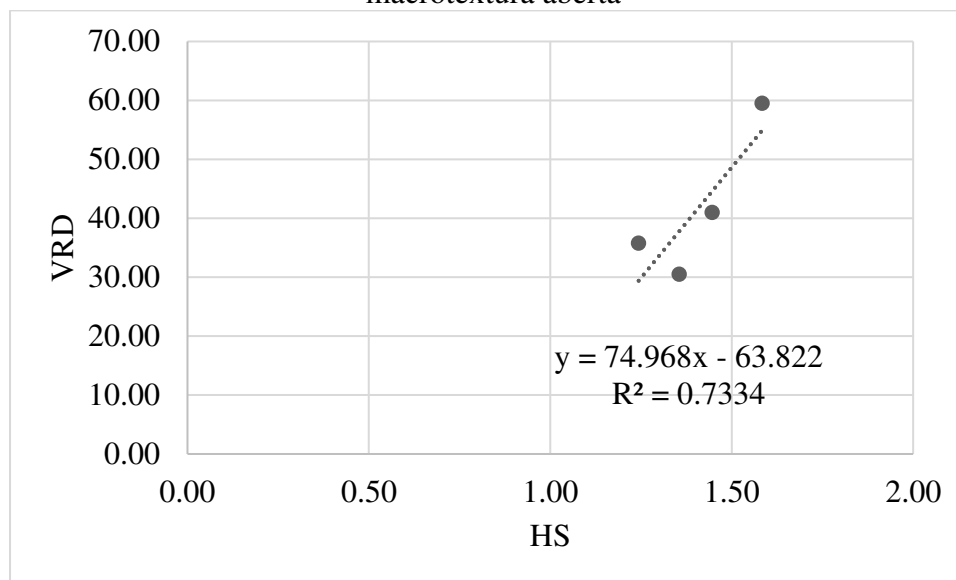


Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

A correlação pode ser classificada como fraca, pois o R^2 encontrado foi igual a 0,0837.

Por último, seguindo a análise, foi obtido o Gráfico 5, a partir dos dados dos pavimentos de macrotextura muito aberta, sendo representados pelos pontos 6, 15, 17 e 21.

Gráfico 5- Correlação de microtextura e macrotextura em revestimentos de macrotextura aberta



Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

A correlação pode ser classificada como forte, pois o R^2 encontrado foi igual a 0,7334.

Na Tabela 13, apresenta-se um resumo sobre as correlações encontradas entre as faixas de macrotextura, exceto a faixa muito fechada, onde não foram analisados pontos com essa característica.

Tabela 13 - Coeficientes de determinação para cada faixa de macrotextura

<i>Faixa de macrotextura</i>	<i>Número de Pontos</i>	<i>Coefficiente de determinação</i>	<i>Classificação da correlação</i>
Fechada	2	1.00	Perfeita
Média	10	0.00	Nula
Aberta	6	0.08	Fraca
Muito Aberta	4	0.73	Forte

Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

A maior correlação foi dada pela faixa de macrotextura fechada, sendo o coeficiente de determinação igual 1, considerado ideal. Sabendo que quaisquer dois pontos em um plano determinam uma reta, esse resultado era o esperado e não pode ser considerado representativo.

A faixa média apresentou correlação nula, e a faixa aberta apresentou correlação fraca. Já a faixa de macrotextura muito aberta apresentou correlação forte. Contudo, esse resultado foi obtido apenas sobre 4 pontos, sendo, então, necessário a investigação em mais pontos para que o resultado seja considerado confiável.

A falta de correlação expressiva pode ser associada a diversos fatores. Pode-se citar a interferência humana nos resultados dos ensaios. A experiência, ou a falta dela, do operador influencia nos resultados dos ensaios. No ensaio da Mancha de Areia, por exemplo, o operador pode fazer com mais ou menos intensidade os movimentos circulares determinantes para encontrar a altura média de areia do pavimento. Já no ensaio do Pêndulo Britânico, mais complexo e que tem um procedimento mais longo, exige um maior cuidado do operador durante todas suas etapas. O nivelamento e calibração do equipamento requer habilidade de quem está manuseando-o. Além disso, a leitura do resultado, que é analógica, deve ser feita de forma atenciosa, uma vez que a altura em que o operador a faz interfere no valor encontrado. Ele deve estar na mesma altura do ponteiro, caso contrário, pode encontrar valores maiores ou menores do real.

Outra observação importante é que os dados utilizados para buscar a correlação foram tratados sem qualquer distinção sobre o tempo de operação do pavimento, sua dosagem, tipo de revestimento, tipo de agregado utilizado, ou fluxo veicular a qual ele está submetido. Separar os tipos de pavimento sob essas características seria interessante para uma análise mais minuciosa, detalhada e talvez mais próspera.

O DNIT (2006), de forma generalista, indica limites de microtextura e macrotextura para indicar que o pavimento apresenta condições satisfatórias, não fazendo distinção, por exemplo, sobre o tipo de revestimento ao qual o pavimento foi submetido. Mas além da análise individual da microtextura e macrotextura, também é importante analisar a segurança viária por meio do cálculo de outros parâmetros, como o IFI e do SN_{40} . Como já mencionado, o resultado de IFI corresponde a dados para uma velocidade de 60km/h, mas também permite que também se obtenham resultados para outras velocidades Assim, na Tabela 14, é apresentado, além dos resultados calculados para o SN_{40} e do IFI para a velocidade de 60 km/h, resultados de IFI para a velocidade de 40 km/h.

Tabela 14 - Resultados do Cálculo de SN₄₀ e do cálculo de IFI para velocidades de 60 e 40 km/h

PONTO	HS	VRD	Sp	FR ₆₀	F ₆₀	F ₄₀	SN ₄₀
1	0.69	45	66.87	21.30	0.23	0.31	25.54
2	0.65	46	61.99	20.53	0.22	0.30	26.21
3	1.11	60	114.01	38.70	0.37	0.44	40.95
4	1.11	40	114.01	25.96	0.26	0.31	23.49
5	0.66	49	63.79	22.49	0.24	0.32	29.16
6	1.24	36	129.65	24.31	0.25	0.29	20.22
7	0.55	40	51.00	15.10	0.18	0.26	20.62
8	0.83	55.5	82.85	30.35	0.30	0.38	35.55
9	0.55	49.8	50.31	18.42	0.20	0.30	28.99
10	0.81	41	80.33	21.87	0.23	0.30	22.40
11	0.53	55	48.15	19.38	0.21	0.32	33.31
12	0.62	57	58.78	24.13	0.25	0.35	35.34
13	0.76	57	75.29	29.08	0.29	0.38	36.09
14	0.25	52	16.83	2.64	0.08	0.25	29.02
15	1.45	41	152.74	29.55	0.29	0.33	25.91
16	0.36	60	29.67	11.13	0.15	0.28	37.11
17	1.58	59.5	168.36	44.21	0.41	0.46	42.97
18	1	52.3	102.53	32.08	0.31	0.38	33.57
19	0.72	49	70.40	24.08	0.25	0.33	29.24
20	0.84	42	83.74	23.12	0.24	0.31	23.66
21	1.36	30.5	142.37	21.47	0.23	0.26	16.16
22	0.59	37.9	55.73	15.44	0.18	0.26	18.74

Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

Como mostrado na Tabela 15, todos os 22 pavimentos estão classificados, segundo o IFI, para uma velocidade de 60 km/h como bom ou muito bom, indicando que os pavimentos apresentam condições satisfatórias. Analisando o IFI, para uma velocidade menor, de 40 km/h, todos os pavimentos apresentam-se como muito bom. Contudo, isso é contestável, uma vez que já foi discutido que, segundo os resultados individuais de microtextura e de macrotextura, vários pontos precisam de medidas corretivas. Além disso, quando analisa-se os pavimentos pelo parâmetro do SN₄₀, nenhum deles se apresenta com boas condições de micro/macrotextura, pois nenhum apresenta valores iguais, maiores ou sequer próximos de 70.

Tabela 15- Classificação do F₆₀, F₄₀ e SN₄₀

PONTO	F₆₀	Classificação(APS)	F₄₀	Classificação (APS)	SN₄₀	Classificação (KOKALLIS E PANAGOULLI)
1	0.23	Muito bom	0.31	Muito bom	26	Polido em termos de microtextura
2	0.22	Muito bom	0.30	Muito bom	26	Polido em termos de microtextura
3	0.37	Muito bom	0.44	Muito bom	41	Situação Típica
4	0.26	Muito bom	0.31	Muito bom	23	Polido em termos de microtextura
5	0.24	Muito bom	0.32	Muito bom	29	Polido em termos de microtextura
6	0.25	Muito bom	0.29	Muito bom	20	Exsudado com falta de micro/macrotextura
7	0.18	Bom	0.26	Muito bom	21	Exsudado com falta de micro/macrotextura
8	0.30	Muito bom	0.38	Muito bom	36	Situação Típica
9	0.20	Bom	0.30	Muito bom	29	Polido em termos de microtextura
10	0.23	Muito bom	0.30	Muito bom	22	Exsudado com falta de micro/macrotextura
11	0.21	Bom	0.32	Muito bom	33	Situação Típica
12	0.25	Muito bom	0.35	Muito bom	35	situação Típica
13	0.29	Muito bom	0.38	Muito bom	36	Situação Típica
14	0.08	Muito ruim	0.25	Muito bom	29	Polido em termos de microtextura
15	0.29	Muito bom	0.33	Muito bom	26	Polido em termos de microtextura
16	0.15	Bom	0.28	Muito bom	37	Situação Típica
17	0.41	Muito bom	0.46	Muito bom	43	Situação Típica
18	0.31	Muito bom	0.38	Muito bom	34	Situação Típica
19	0.25	Muito bom	0.33	Muito bom	29	Polido em termos de microtextura
20	0.24	Muito bom	0.31	Muito bom	24	Polido em termos de microtextura
21	0.23	Muito bom	0.26	Muito bom	16	Exsudado com falta de micro/macrotextura
22	0.18	Bom	0.26	Muito bom	19	Exsudado com falta de micro/macrotextura

Fonte: Elaborado pela a autora (2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os 22 revestimentos foram caracterizados e classificados sob parâmetros de microtextura e macrotextura. Investigando a correlação de microtextura e de macrotextura entre os 22 revestimentos analisados, o coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 0,0715, sendo a correlação classificada como fraca. As faixas média e aberta apresentaram correlação, respectivamente, nula e fraca, com coeficientes, respectivamente, 0,0032 e 0,008. Já a faixa de macrotextura, com coeficiente de determinação igual a 0,73, apresentou correlação forte. Contudo, esse resultado foi obtido apenas sobre 4 pontos, sendo, então, necessário a investigação em mais pontos para que o resultado seja considerado confiável. Logo, não foi possível correlacionar, através de um modelo matemático, os resultados de microtextura e macrotextura devido a dispersão dos resultados e falta de mais amostras de dados.

Segundo o IFI, para uma velocidade de 60 km/h, os pavimentos se apresentaram como bom ou muito bom. Analisando o IFI, para uma velocidade menor, de 40 km/h, todos os pavimentos apresentam-se como muito bom. Contudo, as boas condições dos pavimentos sugerido pelo IFI podem ser questionadas, uma vez que já foi discutido que, segundo os resultados individuais de micro/macrotextura, vários pontos apresentam-se inseguros. Além disso, quando analisa-se os pavimentos pelo parâmetro do SN_{40} , nenhum deles se apresenta com boas condições de microtextura e macrotextura. Assim, os diagnósticos para o pavimento dados pelos parâmetros de IFI e SN_{40} são controversos.

Para trabalhos futuros, sugere-se investigar a correlação de microtextura e macrotextura para cada tipo de revestimento e também analisando-a em cada faixa de classificação com utilização de mais pontos. Sugere-se também que sejam elaboradas classificações para o valor de SN_{40} mais abrangentes, com a adoção de faixas e não com valores pontuais como ocorre atualmente.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E303-98 (1998):** Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester. USA, 1998.

APS, M.; BERNUCCI, L.L.B.; FABRÍCIO, J.M.; FABRÍCIO, J.V.F.; MOURA, E. Determinação do IFI – International Friction Index por intermédio de aparelhagem portátil. In: ENCONTRO DE ASFALTO, 17., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBP, 2004a.

APS, M. **Classificação da Aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – international friction index para revestimentos asfálticos.** 2006. 208p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16504:** Misturas asfálticas –Determinação da profundidade média da macrotextura superficial de pavimentos asfálticos por volumetria –Método da mancha de areia. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION **AFNOR NF P-98-216-7:** Determination de la macrotexture, partie 7: Determination de hauteur au sable. Association Française De Normalisation. Paris, 1999

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação Asfáltica:** Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras/Abeda, 2008. 504 p.

BEZERRA FILHO, C. I.; OLIVEIRA, F. H. L. **Análise da correlação entre a macrotextura e o coeficiente de atrito em pavimentos aeroportuários.** In: XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET. 2013. Belém, PA.

BROSSEAUD, Y. Propriedades das superfícies dos pavimentos em relação à segurança e ao conforto dos usuários. *In:* 18ª Encontro do Asfalto. **Anais...** Rio de Janeiro, 2006.

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

COUTINHO, R. P. **Utilização da parte fina de misturas asfálticas para avaliação do dano por fadiga**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

CNT. **Brasil tem apenas 12,3% da malha rodoviária com pavimento**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/brasil-tem-apenas-12-da-malha-rodoviaria-com-pavimento/>> Acesso em: 4 out. 2017

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. DNIT. Rio de Janeiro: IPR, 2006.

FERREIRA, P. N. **Avaliação da macrotextura de trechos pavimentados de rodovias estaduais situadas na região insular do município de Florianópolis**. 2002. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FERREIRA, J. C. **Estudo e avaliação da influência da macrotextura e microtextura na aderência pneu-pavimento**. 2016. 210f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/169246/342130.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 nov 2017.

KOKKALIS, A. G.; PANAGOULI, O. K. (1998). **Fractal evaluation of pavement skid resistance variations**. I: Surface Wetting. In Chaos, Solitons & Fractals, vol. 9, no. 11, p. 1875-1890.

LAMM, R.; PSARIANOS, B.; MAILAENDER, T. **Highway desing and traffic safety engineering handbook**. New York: McGraw-Hill, 1999.

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

MENEZES, M. A. R. B. **A influência dos parâmetros de aderência de pavimentos aeroportuários no índice internacional de atrito: estudo de caso de aeroportos do nordeste**

brasileiro. 2018. 130 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

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 Pós-graduação em Engenharia de Transportes. UFC. Fortaleza, CE.

PEDER, Marlon Alexandre de. **Avaliação da macrotextura do pavimento asfáltico de um trecho de rodovia localizada no noroeste do estado do paraná**. 2017. 48 f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.


SANDBERG, U. E EJSMONT, J. **Tyre/Road Noise Reference Book**. INFORMEX Ejsmont Sandberg Handelsbolag. Kisa: Sweden. 2002


SANTOS, Edimar de Lima dos. **Análise histórica de atrito de medições das pistas de Aeroportos Santos Dummont – RJ**. 2004. 123 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2004. Disponível em: <http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2004/TGIEI010_2004a_Edimar.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018

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

SPECHT, L. P. et al. Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia. Teoria e prática na Engenharia Civil. Ijuí, n. 10, p. 30–38, 2007. Disponível em:<http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art5_N10.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.

**APÊNDICE A - DADOS E INFORMAÇÕES SOBRE A MACROTEXTURA E
MICROTETURA DOS 22 PAVIMENTOS ANALISADOS**

PONTO 1		
	Macrotextura	
	D1 (mm)	22,7
	D2 (mm)	20,2
	D3 (mm)	21,5
	D4 (mm)	21,8
	Dmédio(mm)	21,5
	HS (mm)	0,69
	Classificação	Média
	Microtextura	
	VRD1	44
	VRD2	47
	VRD3	45
	VRD4	44
	VRD5	44
VRD	45	
Classificação	Insuficientemente rugosa	

PONTO 2		
	Macrotextura	
	D1 (mm)	22,5
	D2 (mm)	23
	D3 (mm)	21
	D4 (mm)	22,3
	Dmédio (mm)	22,2
	HS (mm)	0,65
	Classificação	Média
	Microtextura	
	VRD1	44
	VRD2	47
	VRD3	45
	VRD4	46
	VRD5	46
VRD	46	
Classificação	Insuficientemente rugosa	

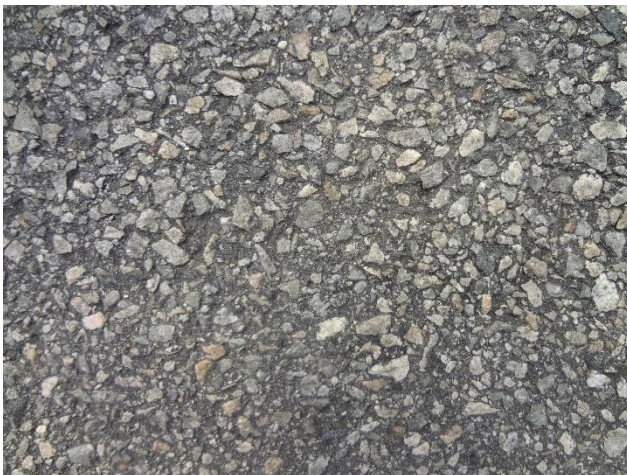
PONTO 3**Macrotextura**

D1 (mm)	16,5
D2 (mm)	17,4
D3 (mm)	17,3
D4 (mm)	16,5
Dmédio (mm)	17
HS (mm)	1,11
Classificação	Aberta

Microtextura

VRD1	60
VRD2	60
VRD3	61
VRD4	59
VRD5	60
VRD	60

Classificação Rugosa

PONTO 4**Macrotextura**

D1 (mm)	17
D2 (mm)	17,4
D3 (mm)	16,5
D4 (mm)	17,2
Dmédio (mm)	17
HS (mm)	1,11
Classificação	Aberta

Microtextura

VRD1	40
VRD2	42
VRD3	40
VRD4	39
VRD5	40
VRD	40

Classificação Insuficientemente rugosa

PONTO 5**Macrotextura**

D1 (mm)	22,6
D2 (mm)	21,8
D3 (mm)	21,7
D4 (mm)	21,6
Dmédio (mm)	21,9
HS (mm)	0,66
Classificação	Média

Microtextura

VRD1	50
VRD2	52
VRD3	50
VRD4	48
VRD5	47
VRD	49

Classificação Medianamente rugosa

PONTO 6**Macrotextura**

D1 (mm)	17,5
D2 (mm)	15,5
D3 (mm)	15
D4 (mm)	16,1
Dmédio (mm)	16
HS (mm)	1,24

Classificação Muito aberta

Microtextura

VRD1	36
VRD2	36
VRD3	34
VRD4	36
VRD5	37
VRD	36

Classificação Lisa

PONTO 7**Macrotextura**

D1 (mm)	24,2
D2 (mm)	23,2
D3 (mm)	24,5
D4 (mm)	24,2
Dmédio (mm)	24
HS (mm)	0,55
Classificação	Média

Microtextura

VRD1	42
VRD2	42
VRD3	40
VRD4	39
VRD5	40
VRD	40

Classificação Insuficientemente rugosa

PONTO 8**Macrotextura**

D1 (mm)	19,5
D2 (mm)	19,7
D3 (mm)	19,4
D4 (mm)	19,7
Dmédio(mm)	19,6
HS (mm)	0,83

Classificação Muito aberta

Microtextura

VRD1	54
VRD2	55
VRD3	54
VRD4	58
VRD5	55
VRD	56

Classificação Rugosa

PONTO 9**Macrotextura**

D1 (mm)	23,7
D2 (mm)	24
D3 (mm)	24,9
D4 (mm)	24,1
Dmédio (mm)	24,2
HS (mm)	0,55
Classificação	Média

Microtextura

VRD1	49
VRD2	49
VRD3	51
VRD4	49
VRD5	50
VRD	50

Classificação Medianamente Rugosa

PONTO 10**Macrotextura**

D1 (mm)	19,5
D2 (mm)	20
D3 (mm)	19,8
D4 (mm)	20
Dmédio (mm)	19,8
HS (mm)	0,81
Classificação	Aberta

Microtextura

VRD1	40
VRD2	41
VRD3	41
VRD4	40
VRD5	41
VRD	41

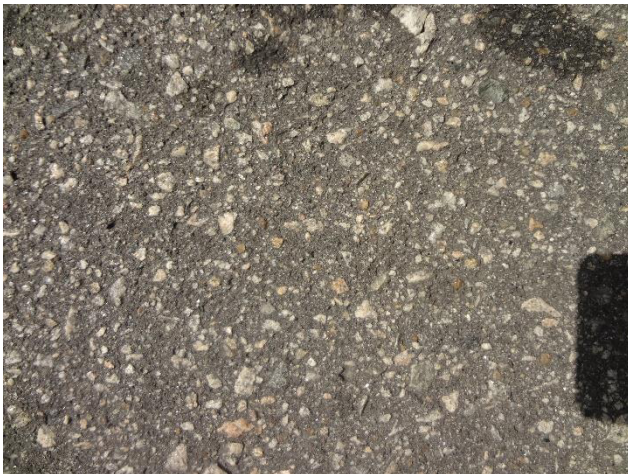
Classificação Insuficientemente Rugosa

PONTO 11**Macrotextura**

D1 (mm)	23,7
D2 (mm)	24,8
D3 (mm)	25,5
D4(mm)	24,4
Dmédio (mm)	24,6
HS (mm)	0,53
Classificação	Média

Microtextura

VRD1	55
VRD2	54
VRD3	54
VRD4	55
VRD5	56
VRD	55
Classificação	Rugosa

PONTO 12**Macrotextura**

D1 (mm)	23,2
D2 (mm)	22,6
D3 (mm)	22,6
D4(mm)	22,5
Dmédio	22,7
HS (mm)	0,62
Classificação	Média

Microtextura

VRD1	58
VRD2	55
VRD3	56
VRD4	57
VRD5	58
VRD	57
Classificação	Rugosa

PONTO 13**Macrotextura**

D1 (mm)	21,2
D2 (mm)	20
D3 (mm)	20
D4 (mm)	20,4
Dmédio (mm)	20,4
HS (mm)	0,76
Classificação	Média

Microtextura

VRD1	56
VRD2	56
VRD3	56
VRD4	57
VRD5	57
VRD	57
Classificação	Rugosa

PONTO 14**Macrotextura**

D1 (mm)	35
D2 (mm)	35
D3 (mm)	36,2
D4(mm)	36,8
Dmédio(mm)	35,7
HS (mm)	0,25
Classificação	Fechada

Microtextura

VRD1	52
VRD2	50
VRD3	51
VRD4	55
VRD5	50
VRD	52
Classificação	Medianamente Rugosa

PONTO 15**Macrotextura**

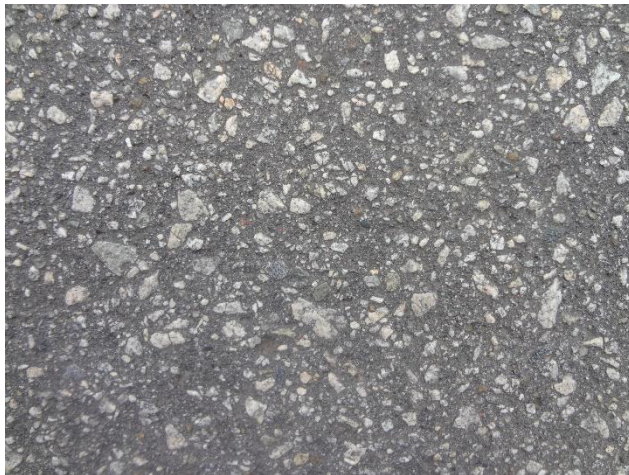
D1 (mm)	14,5
D2 (mm)	15
D3 (mm)	15,1
D4 (mm)	14,7
Dmédio (mm)	14,8
HS (mm)	1,45

Classificação Muito aberta

Microtextura

VRD1	43
VRD2	39
VRD3	40
VRD4	42
VRD5	43
VRD	41

Classificação Insuficientemente Rugosa

PONTO 16**Macrotextura**

D1 (mm)	29,7
D2 (mm)	29,4
D3 (mm)	29,8
D4 (mm)	29,5
Dmédio(mm)	29,6
HS (mm)	0,36

Classificação Fechada

Microtextura

VRD1	61
VRD2	58
VRD3	59
VRD4	61
VRD5	61
VRD	60

Classificação Rugosa

PONTO 17**Macrotextura**

D1 (mm)	14,1
D2 (mm)	15
D3 (mm)	13,4
D4 (mm)	14,1
Dmédio (mm)	14,2
HS (mm)	1,58

Classificação Muito aberta

Microtextura

VRD1	69
VRD2	59
VRD3	63
VRD4	50
VRD5	66
VRD	60

Classificação Rugosa

PONTO 18**Macrotextura**

D1 (mm)	18,5
D2 (mm)	17,4
D3 (mm)	17,8
D4 (mm)	17,5
Dmédio (mm)	17,8
HS (mm)	1

Classificação Aberta

Microtextura

VRD1	51
VRD2	56
VRD3	51
VRD4	50
VRD5	52
VRD	52

Classificação Medianamente Rugosa

PONTO 19**Macrotextura**

D1 (mm)	21,8
D2 (mm)	20
D3 (mm)	21,5
D4 (mm)	21
Dmédio (mm)	21
HS (mm)	0,72
Classificação	Média

Microtextura

VRD1	59
VRD2	48
VRD3	47
VRD4	51
VRD5	50
VRD	49

Classificação Medianamente Rugosa

PONTO 20**Macrotextura**

D1 (mm)	20,4
D2 (mm)	18,8
D3 (mm)	19,2
D4(mm)	19,4
Dmédio(mm)	19,5
HS (mm)	0,84
Classificação	Aberta

Microtextura

VRD1	44
VRD2	41
VRD3	41
VRD4	42
VRD5	44
VRD	42

Classificação Insuficientemente Rugosa

PONTO 21**Macrotextura**

D1 (mm)	15
D2 (mm)	15,3
D3 (mm)	16
D4(mm)	15
Dmédio(mm)	15,3
HS (mm)	1,36

Classificação Muito aberta

Microtextura

VRD1	32
VRD2	32
VRD3	30
VRD4	30
VRD5	30
VRD	31

Classificação Muito Lisa

PONTO 22**Macrotextura**

D1 (mm)	24,8
D2 (mm)	22,5
D3 (mm)	22,5
D4 (mm)	23
Dmédio(mm)	23,2
HS (mm)	0,59

Classificação Média

Microtextura

VRD1	41
VRD2	38
VRD3	37
VRD4	37
VRD5	39
VRD	38

Classificação Lisa