

19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS QUANTO A MACROTEXTURA E MICROTEXTURA DE FORMA INDIVIDUAL E CONJUNTA EM VIAS URBANAS COM VELOCIDADE ATÉ 40 KM/H.

Felipe Lopes Rodrigues¹; Fabrício Santos da Silva¹; Tiago Nascimento do Nascimento¹; Deonir Luiz Soder Tasso Junior¹; Erli Gomes da Silva¹; Thayná Queiroz do Nascimento², Marcelo dos Santos da Silva², Wellington Guimarães Nobre², José Otemar Barroso do Nascimento³, Alexandre Andrade Evangelista³

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

RESUMO

O pavimento flexível é amplamente usado no Brasil, sua qualidade estrutural e de aderência são fundamentais para garantir a interação pneu-pavimento, dando ao condutor segurança quanto à distância de frenagem e minimizando os riscos de ocorrência da hidroplanagem. O presente estudo tem como objetivo avaliar a segurança de pavimentos asfálticos localizados na cidade de Manaus (AM), através da análise da macrotextura e microtextura de forma individual e conjunta em vias urbanas com velocidade até 40 km/h, dado que, seus parâmetros de macrotextura estão abaixo do recomendado pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). Foram realizados ensaios de mancha de areia e pêndulo britânico em 15 revestimentos distintos para obter os dados de macrotextura e microtextura, com suas devidas classificações. Para o estudo individual, utilizou-se o modelo proposto por PASQUET (1986) que indica intervalos da altura da mancha de areia (HS) em função da velocidade da via; já a análise conjunta, as vias foram classificadas através do Índice Internacional de Fricção (IFI) para velocidades de 60 km/h e 40 km/h, junto ao cálculo e análise da resistência a derrapagem designado como *Skid Number* (SN), com o propósito de averiguar se seus resultados convergiam para uma análise comum. Os dados foram positivos na avaliação dos IFIS a 60 km/h e 40 km/h mostrando segurança para as vias, já para os parâmetros de SN40 foi feita duas análises, uma tolerando a situação mínima sugerida de resistência a derrapagem como “típica” e outra utilizando os valores limitantes da norma do DNIT (2006), chegando a conclusão de que em ambas as situações, as vias apresentam segurança se respeitado o valor de $VRD \geq 57$.

PALAVRA-CHAVE; Macrotextura; Microtextura; Resistência a derrapagem; Classificação IFI; Segurança.

ABSTRACT

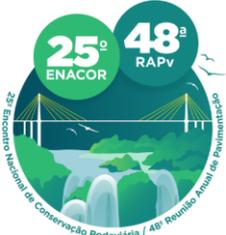
Flexible pavement is widely used in Brazil, and its structural and adhesion qualities are crucial to ensure tire-pavement interaction, providing drivers with safety in terms of braking distance and minimizing the risk of hydroplaning. This study aims to evaluate the safety of asphalt pavements located in the city of Manaus (AM), through the analysis of macrotexture and microtexture individually and in combination, on urban roads with speeds up to 40 km/h, given that their macrotexture parameters are below the recommendations of the DNIT (National Department of Transportation Infrastructure). Sand patch and British pendulum tests were conducted on 15 different roads to obtain macrotexture and microtexture data, along with their respective classifications. For the individual analysis, the model proposed by PASQUET (1986) was used, which indicates sand patch height (HS) intervals as a function of road speed. For the combined analysis, the roads were classified using the International Friction Index (IFI) for speeds of 60 km/h and 40 km/h, in addition to calculating and analyzing the skid resistance designated as *Skid Number* (SN), with the purpose of determining if the results converged to a common outcome for a speed of 40 km/h. The results were positive in the evaluation of IFIs at 60 km/h and 40 km/h, demonstrating safety for the roads. As for the SN40 parameters, two analyses were conducted: one tolerating the suggested minimum skid resistance as "typical" and another using the limiting values from the DNIT standard (2006). The conclusion was that in both situations, the roads are safe if the value of $VRD \geq 57$ is respected.

KEY WORDS: Macrotexture; Microtexture; Skid Resistance; IFI Rating; Safety.

¹Graduando em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas – UFAM. e-mail: felipelopesrodri@gmail.com; fabricio.10196@gmail.com; tiagonn08@gmail.com; deonirjunior@gmail.com; erli.gomes10@gmail.com.

²Laboratorista da Ardo Construtora e Pavimentação. e-mail: controletecnologico@ardoconstrutora.com.br

³CEO da Ardo Construtora e Pavimentação. e-mail: otemar@ardoconstrutora.com.br; alexandre@ardoconstrutora.com.br



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



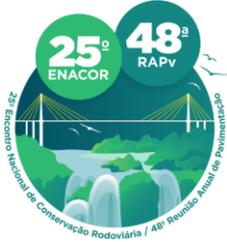
INTRODUÇÃO

O Brasil tradicionalmente prioriza o desenvolvimento do modo rodoviário em sua matriz de transporte (SPECHT *et al.*, 2007). Consequentemente, cerca de 65,0% da matriz de transporte de cargas depende da logística rodoviária, conforme relatório da CNT (2022). Isso tem um impacto direto no custo operacional das empresas de transporte de cargas, devido às condições precárias das estradas, resultando em um aumento médio de 33,1%, como evidenciado por DOMINGUES (1997). A análise por região de acordo com CNT (2022), indica que as rodovias do Norte do país obtiveram os piores resultados em relação ao pavimento, com 77,6% da extensão avaliada apresentando problemas.

O revestimento asfáltico mais empregado no Brasil é o Concreto Asfáltico (CA), sendo um material composto de cimento asfáltico de petróleo, agregados miúdos, graúdos e vazios. (PEREIRA *et al.*, 2012). Para assegurar a elevada interação pneu-pavimento, é necessário garantir boa qualidade do revestimento sendo a textura e aderência fatores físicos externos de elevada importância para a superfície de rolamento (CASTRO, 2018). A fim de que o pavimento possua um grau de segurança apropriado segundo o Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias do DNIT (2010), é imprescindível que o pavimento tenha capacidade resistiva elevada, permitindo o escoamento superficial da água da chuva (drenagem) e boa resistência a frenagem, tais características podem ser vistas a partir dos resultados das análises da macro e microtextura (ZAGONEL, 2013).

De acordo com PIARC (1992), a textura é classificada em função do comprimento de onda ou distância, essa classificação pode ser: Microtextura, macrotextura, megatextura ou irregularidade, especificada pela ASTM E867 (2012). A macrotextura depende da rugosidade formada pelo agregado e o ligante, é responsável pela aderência a média e a altas velocidades em pista molhadas, uma vez que, contribui para a drenabilidade da água superficial acumulada entre pneu-pavimento, dificultando a possibilidade da hidroplanagem (BERNUCCI *et al.*, 2007). Sua determinação é feita através do ensaio da Mancha de Areia, onde, seu objetivo é fazer o preenchimento dos vazios superficiais do revestimento por um volume conhecido de areia (MATTOS, CERATTI e NÚÑES, 2010); Bucharles (2014) enfatiza que o ensaio de mancha de areia é amplamente propagado pela facilidade de realização e baixo custo, seu resultado é expresso de acordo com a altura da mancha ou *Hauter au Sable* (HS). A microtextura está associada à capacidade de os agregados resistirem ao desgaste e à rugosidade superficial (GURGEL, 2019). Com relação à hidroplanagem, a microtextura é responsável por romper a película de água no contato do pneu e a superfície rolante, garantindo seu contato (SOARES, 2011). A composição mineralógica é outro fator que caracteriza o revestimento quanto a sua rugosidade (AQUINO *et al.*, 2022), sua avaliação é em função dos valores de atrito medidos com o equipamento Pêndulo Britânico e expressos em termos de Valor de Resistência a Derrapagem (VRD), o procedimento deve seguir as recomendações da ASTM E303 (2022).

Pasquet (1968) relaciona a macrotextura de acordo com a altura média de areia (HS) e recomenda velocidades equivalentes para os respectivos valores de textura, com isso será analisado de forma individual a macrotextura dos pavimentos, a fim de averiguar se a velocidade sugerida está dentro o limite da via. Para avaliar as condições de segurança do pavimento de forma conjunta, é utilizado o *International Friction Index* (IFI), sendo resultado de uma pesquisa internacional regida pela *World Road Association* (PIARC), onde, criou-se um parâmetro unificado para a resistência a derrapagem utilizando resultados da micro e macrotextura (ZENKNER, 2019). Seguindo o mesmo princípio, Kokkalis e Panagouli (1998), convergiram para uma expressão onde se relaciona o valor de macrotextura e microtextura através dos resultados dos ensaios da mancha de areia e pêndulo britânico, obtendo-se um valor único para resistência a derrapagem descrito como *Skid Number* (SN).



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



O presente estudo busca analisar a segurança de pavimentos asfálticos localizados na cidade de Manaus (AM), onde, os mesmos são vias urbanas e se encontram em situações de macrotextura abaixo do recomendado pelo DNIT (2006). Foram realizados ensaios de pêndulo Britânico e mancha de areia em vias com velocidade máxima permitida de 40 km/h, e utilizou-se seus dados para classificá-los de acordo com o IFI padrão, IFI a 40 km/h e o SN₄₀ (Resistência a derrapagem para uma velocidade de 40 km/h), a fim de examinar se tais valores convergem para resultados positivos quanto à resistência a derrapagem. Criou-se também um parâmetro mínimo de SN₄₀ levando em contas as recomendações mínimas Brasileira e comparou-se com os resultados anteriores.

METODOLOGIA

O presente trabalho contempla a mensuração da microtextura e macrotextura através dos métodos de pêndulo Britânico e mancha de areia, em 15 pontos distintos (Tabela 01) localizados na cidade de Manaus (AM). Para cada via foram feitas três aferições dos ensaios de pêndulo e mancha, para três pontos distintos, designando-os como: início, meio e fim da via. Escolheu-se a condição mais desfavorável quanto a macrotextura, ou seja, o menor valor de HS com seu valor de VRD correspondente. Com os resultados obtidos será feita análise das condições de aderência dos pavimentos quanto à macrotextura e microtextura de forma individual e conjunta através de:

- Análise da macrotextura de acordo com a recomendação de PASQUET (1968), que avalia a textura superficial do pavimento em função da altura média de areia e sua aplicação em termos de velocidade média.
- Classificação IFI padrão, para velocidade 60 km/h de acordo com a ASTM E 1960/98;
- Classificação IFI para uma velocidade de 40 km/h;
- Obtenção do coeficiente de derrapagem para uma velocidade de 40km/h (SN₄₀), e sua respectiva classificação segundo KOKKALIS E PANAGOULI (1998).
- Criação de modelo de tabela com valores de SN₄₀, obtidos por meio da aplicação dos parâmetros mínimos sugeridos pelo DNIT (2006) para microtextura, em conjunto com valores variáveis de macrotextura, a fim de verificar a segurança quanto a resistência a derrapagem dentro do intervalo sugerido pela norma e compará-lo com as classificações sugeridas por KOKKALIS E PANAGOULI (1998).

Tabela 1. Vias Estudadas (AUTOR, 2023).

Pontos	Rua	Pontos	Rua
1	Sambodromo	9	Via Local A
2	Kagoshima	10	9 (Parque 10)
3	Artur reis	11	Maroaga
4	Vasco Vasques	12	Arquiteto renato Bragas
5	8 (Parque 10)	13	Ernesto Pinto
6	Das Brilhantinas	14	Humberto de campos
7	Teofilo Said	15	Bragança
8	Elin Vintonen		



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



ENSAIOS E PROCEDIMENTOS EXECUTADOS.

Pêndulo Britânico

Para análise da microtextura utilizou-se o pêndulo britânico, um equipamento portátil, padronizado pela ASTM E 303-22. Trata-se de um método indireto para medir o coeficiente de atrito de pavimentos que consiste em um pêndulo lançado em queda livre sobre o pavimento previamente molhado, medindo, por conseguinte, a perda de energia por atrito entre a sapata de borracha do pêndulo e a superfície do pavimento. Seu resultado pode ser expresso em BPN (*British Number Pendulum*), SRT (*Skid Resistent Test*) ou VRD (Valor de Resistência a derrapagem).

Encontrado o valor de VRD, é possível classificar a superfície quanto a microtextura de acordo com a Tabela 02.

Tabela 02. Classes de resistência à derrapagem / Pêndulo Britânico (DNIT, 2006).

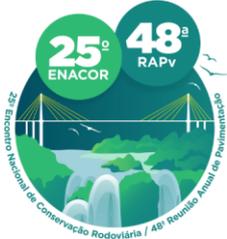
Classificação	VRD - Valor de Resistência à derrapagem
Perigosa	< 25
Muito lisa	25 - 31
Lisa	32 - 39
Insuficiente Rugosa	40 - 46
Mediamente rugosa	47 - 54
rugosa	55 - 75
Muito rugosa	> 75

De acordo com CASTRO (2018) existem normas regulamentadoras brasileiras que balizem quais devem ser os valores de microtextura. O Manual de Restauração de pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006) recomenda que o valor de VRD seja no mínimo 55. Todavia, Bernucci *et al* (2008), faz alusão a uma recomendação de VRD igual ou superior a 47 feita pela agência de transportes do estado de São Paulo (ARTESP), de acordo com National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), a norma regulamentadora da Austrália define para vias do tipo primárias e secundárias um valor mínimo de 45 VRD.

Com isso, o valor de VRD para diferentes biografias, pode ter valores limites distintos em sua aplicação, levando em conta a segurança da via. É importante citar que a degradação do pavimento com tempo, desgaste por conta do fluxo contínuo e a sucessiva exposição às intempéries são fatores que alteram a preservação e conseqüentemente os parâmetros de microtextura da via a longo prazo (APS, 2006).

Mancha de Areia

O ensaio de mancha de areia ou *Sand Patch* é um método padronizado pela ASTM E965-01 e NBR 16504 (ABNT, 2016), para medir indiretamente a textura de superfícies de pavimentos. Ele consiste em preencher os vazios da textura com um volume conhecido de $25000\text{mm}^3 \pm 150\text{mm}^3$ de areia natural limpa e seca, com característica uniforme e de grãos arredondados, passantes na peneira de abertura 0,3mm e retidos na peneira de abertura 0,15mm ou com microsferas de vidro com as mesmas características granulométricas. O objetivo é determinar a profundidade média da altura da mancha de areia (HS) na superfície do pavimento (PEREIRA *et al.*, 2012).



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Para realização do ensaio, deve-se limpar a superfície com uma escova, em seguida distribuir a areia sobre a superfície seca e compactá-la com um disco circular (64mm de diâmetro) com base revestida de borracha (1,5mm de espessura). Realiza-se movimentos circulares uniformes preenchendo os vazios da superfície, obtendo-se assim uma área final circular. Uma vez concluído o processo, o diâmetro do círculo da mancha deve ser medido em quatro direções distintas, a média dessas quatro medidas será o diâmetro médio (D_m) do círculo formado (NBR 16504, 2016). Assim, encontrando a altura média da mancha (HS) através da equação 1,

$$HS = \frac{4 \cdot V}{D_m^2 \cdot \pi} \quad (1)$$

Sendo:

- HS: Altura da mancha de areia (mm);
- V: Volume de areia (mm³);
- D_m : Diâmetro médio da mancha (mm).

Com o valor de HS é possível classificar o revestimento quanto à macrotextura de acordo com DNIT (2006) como mostrado na Tabela 03.

Tabela 03. Classificação da mancha de areia (DNIT, 2006).

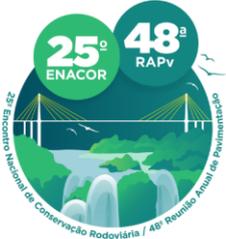
Classificação	Hs (mm)
Muito fina ou Muita fechada	$H_s < 0,20$
Fina ou Fechada	$0,20 < H_s < 0,40$
Média	$0,40 < H_s < 0,80$
Grosseira ou Aberta	$0,8 < H_s < 1,20$
Muito Grosseira ou Muito aberta	$H_s > 1,20$

O Manual de Restauração de pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006) recomenda que o valor de H_s esteja no intervalo de 0,6mm a 1,2mm; 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 garantir uma boa drenagem superficial; paralelo a análise feita para microtextura, os parâmetros normativos analisados para Austrália quanto a macrotextura variam de 0,2 mm a 0,4 mm para vias secundárias; PASQUET (1968), constatou uma relação direta de proporcionalidade entre o coeficiente de atrito e a altura de areia, com isso, fez uma relação entre ao tipo de macrotextura o tipo de via e sua respectiva velocidade, dizendo eu para vias com velocidades até 80 km/h a macrotextura pode ser de até 0,4 mm.

Tais valores mostram que os valores sugeridos no Manual de Restauração de pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), trabalham com uma margem de macrotextura superior às recomendações como de Brousseau (2006) e Pasquet (1968).

ANÁLISE CONJUNTA DA MICROTTEXTURA E MACROTTEXTURA

De acordo CASTRO (2018), uma análise individual da macrotextura e microtextura não é suficiente para garantir a segurança da via. Com isso, *World Road Association* (PIARC) criou o *International Friction Index* (IFI), onde se obtém o coeficiente de atrito harmonizado para uma velocidade de 60 Km/h levando em consideração os diferentes métodos para da macrotextura e microtextura, contudo,



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



segundo APS (2010), é possível variar os valores de velocidades e encontrar um valor de coeficiente de atrito equivalente.

Cálculo e Classificação do Internacional Friction Index (IFI)

Encontra-se primeiramente a constante de referência de velocidade (S_p), onde, de acordo com a ASTM (1998), tal constante é referente a uma velocidade de 60 km/h e é obtida através dos valores de macrotextura e de constantes diretamente ligadas ao método para obtê-la, conforme a Equação 2.

$$S_p = a + b * TX \quad (2)$$

Onde:

SP: Constante de referência de velocidade;

a e b: Constantes de calibração, que dependem do método para obtenção dos resultados da macrotextura.

TX: Valor da macrotextura obtido.

Os valores dos coeficientes a e b para o método da mancha de areia são de $a = -11,6$, $b = 113,6$ de acordo com a ASTM E 1960/98.

Em seguida encontrar o valor do atrito ajustado para velocidade de 60 km/h (FR_{60}), utilizando o valor de SP anteriormente calculado, seguindo a Equação 3.

$$FR_{60} = FRS * e^{\left[\frac{S-60}{S_p}\right]} \quad (3)$$

Onde:

FR60: Atrito ajustado para 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;

Sp: Constante de referência da velocidade.

Utilizando o $S = 10$ que é equivalente ao método do pêndulo britânico para microtextura (ASTM E 1969/98). Define-se o atrito harmonizado para 60 km/h em função da macrotextura (TX) e do valor encontrado para FR_{60} , conforme a Equação 4.

$$F_{60} = A + B * FR_{60} + C * TX \quad (4)$$

Onde:

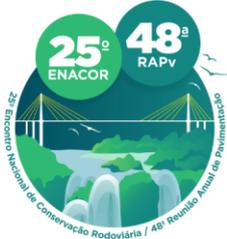
F60: Valor de atrito harmonizado para a velocidade de 60 km/h;

A, B e C: Constante de acordo com o equipamento utilizado;

FR60: Valor de atrito ajustado para a velocidade de 60 km/h;

TX: valor da macrotextura obtido.

Valores dos coeficientes A, B e C são obtidos de acordo com a característica dos equipamentos calibrados pelos modelos da PIARC, como feito anteriormente. Esse estudo utilizou o método do pêndulo britânico, onde seus valores de coeficientes A, B e C são respectivamente 0,044, 0,01 e 0.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



O valor de IFI, é expresso pelo par de valores do atrito harmonizado para velocidade de 60 Km/h (F_{60}) e a previsão do valor da velocidade calibrada (S_p) de acordo com a ASTM 1998. Tendo em vista que o presente estudo fará análise de vias urbanas com velocidade até 40 km/h, calculou-se o valor de IFI equivalente para 40 km/h. Utilizou-se a Equação 5.

$$FS = F_{60} * e^{\left[\frac{60-S}{S_p}\right]} \quad (5)$$

Sendo:

FS: Valor do atrito harmonizado para uma determinada velocidade;

FR₆₀: Valor de atrito harmonizado para a velocidade de 60km/h;

S: Velocidade de deslocamento (40 km/h);

S_p: Constante de referência da velocidade.

Para garantir condições seguras das vias, o manual de restauração de pavimentos asfálticos do DNIT (2006) estabeleceu intervalos máximos e mínimos que caracterizam as condições da via em função dos respectivos valores de IFI, como mostrado na Tabela 4. De acordo com KOKKALIS e PANAGOULI (1998) existem outros fatores externos contaminantes podem colocar o pavimento em condições de risco como: presença de óleo, poeira ou areia na via, podendo reduzir a aderência pneu-pavimento de 15% a 20% podendo chegar a 50% em vias com a presença de lâmina de água. Vale ressaltar que o valor de IFI para qualquer dispositivo que esteja calibrado de acordo com a norma ASTM E 1960/98, irá fazer uma análise do atrito/ derrapagem da via, sendo um balizador para os parâmetros de macro e microtextura (DNIT 2006).

Tabela 4. Classificação do IFI (DNIT, 2006).

Valores do IFI	Mínimo	Máximo
Péssimo	< 0,06	
Ruim	0,06	0,12
Regular	0,13	0,16
Bom	0,20	0,30
Ótimo	> 30	

Cálculo e Classificação do SN₄₀

A partir dos dados conjuntos dos dispositivos portáteis Pêndulo Britânico e a Mancha de Areia, é possível também, determinar a resistência à derrapagem em pavimentos saturados para uma velocidade de 40 km/h, utilizando a Equação 6. Essa expressão foi proposta por KOKKALIS E PANAGOULI (1998), e resulta em valores médios de resistência a derrapagem chamado de *Skid Number* (SN) para diferentes condições da superfície do pavimento são expostos na Tabela 5.

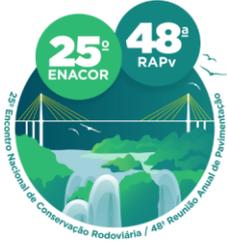
$$SN_{40} = 0,884 * VRD + 5,16 * Hs - 17,8 \quad (6)$$

Sendo:

SN₄₀: Resistência a derrapagem para velocidade de 40 Km/h;

VRD: Valor de Resistência a Derrapagem;

HS: Altura média da mancha de areia.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 5. Valores de resistência à derrapagem (SN) para diferentes condições das superfícies (KOKKALIS E PANAGOULI 1998).

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

RESULTADO E DISCUSSÕES

A Tabela 6 apresenta as vias estudadas com os resultados dos ensaios de mancha de areia e pêndulo britânico, com suas respectivas classificações de acordo com DNIT (2006). Analisou-se que todos os pontos críticos de cada rua estudada estão abaixo das recomendações do DNIT para macrotextura e somente o Ponto 4 não atende quanto à microtextura, tendo 93,34% das vias característica rugosa. Com isso, será analisado se as vias em situações abaixo do recomendado pelo DNIT (2006) quanto à macrotextura, apresentam segurança aos condutores.

Tabela 6. Dados obtidos em campo de macrotextura e microtextura e suas respectivas classificações (AUTOR, 2023).

Pontos	Rua	HS (mm)	Classificação Macrotextura	VRD	Classificação Microtextura
1	Sambódromo	0,44	Média	55	Rugosa
2	Kagoshima	0,39	Fechada	65	Rugosa
3	Artur Reis	0,41	Média	70	Rugosa
4	Vasco Vasques	0,49	Média	50	Medianamente Rugosa
5	8 (Parque 10)	0,53	Média	60	Rugosa
6	Das Brilhantinas	0,46	Média	65	Rugosa
7	Teofilo Said	0,48	Média	65	Rugosa
8	Elin Vintonen	0,45	Média	65	Rugosa
9	Via Local A	0,44	Média	65	Rugosa
10	9 (Parque 10)	0,48	Média	55	Rugosa
11	Maroaga	0,4	Média	65	Rugosa
12	Arquiteto renato Bragas	0,47	Média	60	Rugosa
13	Ernesto Pinto	0,44	Média	65	Rugosa
14	Humberto de campos	0,43	Média	55	Rugosa
15	Bragança	0,38	Fechada	55	Rugosa

Além disso, foi possível avaliar pelo critério proposto por Pasquet (1968), que indica que para vias urbanas com velocidade de até 80 km/h o limite para HS é de 0,4 mm, concluindo que para esse método de avaliação os 15 pontos estudados estão dentro de uma margem de segurança da via, levando em conta que as vias analisadas permitem velocidade até 40 km/h.

Além da avaliação individual da macrotextura e microtextura, torna-se necessário considerar os dois parâmetros de forma conjunta, por meio do cálculo do IFI e SN₄₀, tendo em vista que essas medidas analisam de forma mais fidedigna a segurança do pavimento quando analisadas juntas. Como elucidado anteriormente, o resultado do IFI corresponde a uma velocidade de 60 km/h, mas permite achar valores equivalentes para velocidades distintas, dessa forma, avaliou-se para velocidade de 40



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



km/h, a fim de verificar tal parâmetro para velocidade padrão da via. Com isso, na Tabela 7, é apresentado os valores de SN₄₀ e IFI para velocidades de 60km/h e 40km/h, com suas devidas classificações.

Tabela 7. Valores de SN₄₀, IFI Para velocidade de 60 km/h e 40 km/h, com suas respectivas classificações (AUTOR, 2023).

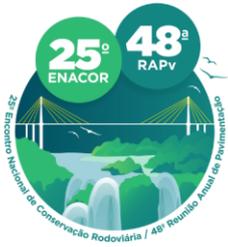
Pontos	Sp	FR60	F60	Classif. DINT	F40	Classif. DINT	SN40	Classific. (Kokallis e Panagoulli)
1	38,38	14,95	0,18	Regular	0,30	Ótimo	33,1	Polido em termos de Microtextura
2	32,70	14,09	0,17	Regular	0,31	Ótimo	41,7	Situação Típica
3	34,98	16,76	0,19	Regular	0,34	Ótimo	46,2	Situação Típica
4	44,06	16,08	0,18	Regular	0,29	Bom	28,9	Polido em termos de Microtextura
5	48,61	21,45	0,23	Bom	0,34	Ótimo	38,0	Situação Típica
6	40,66	19,00	0,21	Bom	0,34	Ótimo	42,0	Situação Típica
7	42,93	20,28	0,22	Bom	0,35	Ótimo	42,1	Situação Típica
8	39,52	18,34	0,20	Bom	0,34	Ótimo	42,0	Situação Típica
9	38,38	17,67	0,20	Bom	0,33	Ótimo	41,9	Situação Típica
10	42,93	17,16	0,19	Regular	0,31	Ótimo	33,3	Polido em termos de Microtextura
11	33,84	14,83	0,17	Regular	0,32	Ótimo	41,7	Situação Típica
12	41,79	18,14	0,20	Bom	0,32	Ótimo	37,7	Situação Típica
13	38,38	17,67	0,20	Regular	0,33	Ótimo	41,9	Situação Típica
14	37,25	14,37	0,17	Regular	0,29	Bom	33,0	Polido em termos de Microtextura
15	31,57	11,28	0,15	Regular	0,28	Bom	32,8	Polido em termos de Microtextura

As 15 vias estão classificadas, de acordo com IFI para velocidade de 60 km/h como Bom a regular, mostrando que o pavimento apresenta condições aceitáveis quanto à sua aderência. Para o IFI correspondente a 40 km/h a classificação foi para bom e ótimo, reafirmando as boas condições do pavimento. Para a análise do SN₄₀ e suas respectivas classificações, verificou-se que 1/3 das amostras apresentaram condição de polido em termos de microtextura, quanto o restante é classificado como situação típica, tais resultados mostram que 66% das amostras se enquadram nos parâmetros mínimos exigidos segundo KOKKALIS e PANAGOULLI, podendo concluir que, mesmo em condições desconformes com o recomendado pelo DNIT (2016) quanto aos valores de HS, os resultados mostram novamente que há segurança na maioria das vias analisadas.

Discussão dos Valores de SN₄₀ em Função das Limitações Normativas do DNIT.

Como esclarecido anteriormente, o Manual de restauração do DNIT leva em consideração parâmetros mínimos elevados quando comparados com recomendações de outros países e autores. Sabendo disso, foi utilizado a equação (6) para criar a Tabela 8, variando os parâmetros de microtextura e macrotextura, a fim de tornar prático a análise de pavimentos dentro das faixas proposta pelo DNIT e as recomendações feitas pelo autor. Com isso, pegou-se os limites inferiores sugeridos pelo DNIT (2006) de HS = 0,6 e VRD = 55 e formou-se um valor mínimo equivalente para o Brasil de aproximadamente 34.

Esse valor pode ser chamado de SNB₄₀ mín.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 8. Valores de SN₄₀ para diferentes tipos de VRD e HS (AUTOR, 2023).

SN ₄₀ em função de VRD e HS									
VRD	HS (mm)								
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2
55	32,9	33,4	33,9	34,4	34,9	35,5	36,0	36,5	37,0
56	33,8	34,3	34,8	35,3	35,8	36,3	36,9	37,4	37,9
57	34,7	35,2	35,7	36,2	36,7	37,2	37,7	38,3	38,8
58	35,5	36,1	36,6	37,1	37,6	38,1	38,6	39,1	39,7
59	36,4	36,9	37,5	38,0	38,5	39,0	39,5	40,0	40,5
60	37,3	37,8	38,3	38,9	39,4	39,9	40,4	40,9	41,4
61	38,2	38,7	39,2	39,7	40,3	40,8	41,3	41,8	42,3
62	39,1	39,6	40,1	40,6	41,1	41,7	42,2	42,7	43,2
63	40,0	40,5	41,0	41,5	42,0	42,5	43,1	43,6	44,1
64	40,8	41,4	41,9	42,4	42,9	43,4	43,9	44,5	45,0
65	41,7	42,2	42,8	43,3	43,8	44,3	44,8	45,3	45,9

Diante da Tabela 8, tirou-se as seguintes conclusões:

- O SN₄₀ para condição aceitável de acordo com KOKKALIS é 40. Logo, para a situação onde os resultados de HS são abaixo do recomendado os valores de Pêndulo tendem a aumentar, criando um escalonamento que vai de um valor de VRD de 63 para HS de 0,4 e 0,5 mm, até um VRD de 59 para uma macrotextura máxima de 1,2 mm.
- Os valores dentro do intervalo de 55 VRD e 0,6 HS são os mínimos sugeridos pelo DNIT (2016), logo, qualquer valor que esteja nesse intervalo já pode se caracterizar como seguro. Porém, o valor equivalente de SNB₄₀ mín para esse par de valores é de aproximadamente 34, fazendo com que para valores abaixo de 0,6 mm o valor do pêndulo chegue até 57, respeitando a resistência a derrapagem (SN₄₀) mínima sugerida pelo DNIT (2016), tendo uma flexibilização 75%, quando comparado com o mínimo exigido por KOKKALIS.

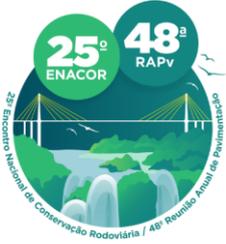
As vias analisadas que não conseguiram alcançar a classificação de situação típica tiveram o valor de pêndulo britânico variando de 50 a 55 um a valor abaixo dos 59 sugerido anteriormente, dessa forma, legitimando a análise feita e criando um limite mínimo aceitável para o coeficiente de resistência de derrapagem para velocidade de 40 km/h utilizando limitantes do DNIT (2006).

CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou a segurança de pavimentos asfálticos localizados na cidade de Manaus (AM), tendo como características comuns a velocidade máxima permitida de 40 km/h e os parâmetros de macrotextura abaixo do recomendado pelo DNIT (2006). Realizou-se os ensaios de mancha de areia e pêndulo britânico a fim de obter dados da macrotextura e microtextura com suas respectivas classificações.

Com os dados obtidos foi possível classificar a segurança das vias de forma individual através do critério proposto por Pasquet (1968), onde, os 15 pavimentos apresentam condições mínimas de segurança.

Para análise de forma conjunta utilizando os dados de VRD e HS de cada pavimento, utilizou-se o *International Friction Index (IFI)*, para velocidades de 60 km/h e 40 km/h, onde, os resultados foram positivos em ambas as situações, mostrando que há segurança das vias analisadas. Paralelo ao IFI foi



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

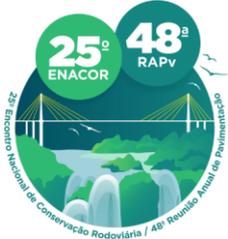
www.rapvenacor.com.br



estudado coeficiente de derrapagem a velocidade de 40 km/h (SN₄₀), onde foi considerado o valor mínimo exigido por KOKKALIS de 40, que para pavimentos classifica-se como “Situação Típica”, com isso, 66% dos pavimentos estudados apresentaram resultados positivos para esta análise, e os demais abaixo do recomendado pelo autor. Porém, constatou-se que para valores de HS variando até 0,4 mm é necessário um resultado de VRD mínimo de 63, para ter concordância com o que é proposto por KOKKALIS para se obter a Situação típica. Todavia, se for utilizado os parâmetros mínimos de macrotextura e microtextura recomendado pelo DNIT (2006) seu valor típico cai de 40 para 34, mostrando que os pavimentos estudados, apresentam boa segurança quanto ao SN₄₀ Brasileiro definido. Com isso, recomenda-se que para valores de macrotextura abaixo do recomendado pelo DNIT (2006) de 0,4 mm, se tenha um valor de VRD ≥ 57 para que a superfície rolante tenha resistência a derrapagem adequada e drenabilidade suficiente para que a via seja classificada como segura.

REFERÊNCIAS

- APS, M., **Classificação da Aderência Pneu-Pavimento pelo Índice Combinado IFI** – International Friction Index para Revestimentos Asfálticos. Tese (Doutorado), Escola Politécnica – USP, São Paulo, SP. 2006.
- APS, M., **Análise da Aderência Pneu-Pavimento. Palestra proferida na Escola Politécnica** – USP, São Paulo, SP. 2010.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016) **NBR 16504**: Misturas asfálticas - Determinação da profundidade média da macrotextura superficial de pavimentos asfálticos por volumetria - Método da mancha de areia. Rio de Janeiro, RJ. 5 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E-1960-98 (1998)**: Standard Practice for calculating International Friction Index of a Pavement Surface. West Conshohocken: ASTM Standards, 2001. 5 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E-303-22 (2022)**: Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester. West Conshohocken, PA, 2022, 7p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 867-97 (1997)**: Terminology relating to Vehicle-pavement systems. West Conshohocken: ASTM Standards, 1997.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E-965-96 (2001)**: Standard Test Method for Measuring Surface Macro texture Depth Using a Volumetric Technique. West Conshohocken: ASTM Standards, 2001. 5 p.
- AQUINO. T. S. A. et al. **Metodologia Para Determinação De Macrotextura De Pavimento Através De Fotogrametria De Curta Distância**. In: 24^o (ENACOR) e 47^a (RAPV). Rio grande do Sul, 2022.
- 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., **Crítérios para avaliação pericial da macro e microtextura de pavimento asfáltico em local de acidente de trânsito**. Dissertação de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos (USP), São Carlos/SP. 2014.
- BERNUCCI, L. B., MOTA, L. M. G., CERATI, J. A. P. e SOARES, J. B. (2007) **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros**. Petrobras. Abeda. Rio de Janeiro, RJ.
- CASTRO, C. C. O., **Análise Da Resistência À Derrapagem De Revestimentos Flexíveis Em Serviço Por Meio Dos Parâmetros IFI E SN40**. TCC para Engenharia Civil, UFC, Fortaleza, 2018.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. 2^a ed. Rio de Janeiro, 2006, 310p. (IPR. Publ. 720).
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Sistema Nacional de Viação – SNV (2011 a 2022)**. Disponível em: servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAdiNr?path=%2F. Acesso em: out. 2022.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2006). **Manual de Restauração de**



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Pavimentos Asfálticos. IPR, Rio de Janeiro, RJ.

GURGEL, J. P. V., **Avaliação de Macrotextura e Microtextura em Pavimentos Asfálticos - Estudo De Caso**, Monografia De Projeto Final Em Transportes, UnB, BRASÍLIA, 2019.

KOKKALIS, A. G. & PANAGOULI, O. K., **Fractal Evaluation of Pavement Skid Resistance Variations**. I: Surface Wetting. Grécia, 1997.

MATTOS, J. R. G.; CERATTI, J. A. & NUÑEZ, W. P., **Análise de aderência pneu-Pavimento em diferentes tipos de revestimento de pavimento**. Dissertação de mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 2010.

PEREIRA, C. A., **Análise das correlações existentes entre as medidas de aderência pneu-pavimento avaliadas em campo e em laboratório**. Universidade Federal de Pernambu-co, Recife, PE. 2012.

PEREIRA, H. (2018). Patologias em pavimentos asfálticos e determinação do grau de deterioração asfáltica em trechos de tráfego de veículos pesados. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Centro Universitário de Maringá/UNICESUMAR.

PASQUET, A. Campagne nationale de glissance 1967 em France: **colloque international sur la glissance et la sécuritté de la circulation sur routes moullées**. Berlin, 1968.

SOARES, A. F. S., **Análise Da Ocorrência De Hidroplanagem Num Caso Real**, Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Evaluation of Paviment Friction Characteristic: A Synthesis of Highway Practice**. NCHP Synthesis, Washigton.

DOMINGUES, F. A. A., (1991); **Equipamentos de Medição de Aderência entre o Pneu e o Pavimento Desenvolvido pelo NDTT/USO**, in 25º Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, São Paulo, SP.

DOMINGUES, F. A. A.; MOMM, L., JU KUAN, L., QUADROS, L. Q., SOUZA, P.B.S., (1997); **Relatório de Pesquisa Medição de Aderência Pneu-Pavimento em Pistas MolhadaS da Rede DERSA**, LDDT/EPUSP/DERSA, São Paulo, SP.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias**. Rio de Janeiro: 2010, p.280.

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 de abril. 2023.

ZENKNER, T. F.; NATANAEL, M. V. B.; SILVA JUNIOR, F. V.. **Avaliação da macrotextura do pavimento asfáltico do anel viário do município de Palmas (TO)**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.9, n.8, p.148-157, 2019.

ZAGONEL, A. R.; **Inovações em revestimentos asfálticos utilizados no Brasil**. TCC (Curso de Graduação em Engenharia Civil), Ijuí, Rio Grande do Sul, p. 115, 2013.