

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

GABRIELA CAROLINE FOLLMANN

HELOISE PETRIKOSKI MIAKI

**ANÁLISE DO COEFICIENTE DE ATRITO DO PAVIMENTO RÍGIDO COM
USO DO PÊNDULO BRITÂNICO COMPARADO AO ATRITO SUPERFICIAL
COM ENSAIO DA MANCHA DE AREIA**

CASCADEL - PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

GABRIELA CAROLINE FOLLMANN

HELOISE PETRIKOSKI MIAKI

**ANÁLISE DO COEFICIENTE DE ATRITO DO PAVIMENTO RÍGIDO COM
USO DO PÊNDULO BRITÂNICO COMPARADO AO ATRITO SUPERFICIAL
COM ENSAIO DA MANCHA DE AREIA**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professor (a) Orientador (a): Especialista,
Lincoln Salgado.**

**CASCADEL - PR
2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

**GABRIELA CAROLINE FOLLMANN
HELOISE PETRIKOSKI MIAKI**

**ANÁLISE DO COEFICIENTE DE ATRITO DO PAVIMENTO RÍGIDO COM
USO DO PÊNDULO BRITÂNICO COMPARADO AO ATRITO SUPERFICIAL
COM ENSAIO DA MANCHA DE AREIA**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor (a) Especialista Engenheiro Civil **LINCOLN SALGADO**.

BANCA EXAMINADORA


Orientador (a) Prof^a. Especialista Lincoln Salgado
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil


Professor (a) Mestre Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil


Professor (a) Mestre Julio Tozo Neto
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 28 de Novembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por ter nos dado saúde e inteligência para superar todas as dificuldades e chegar até aqui.

Agradecemos as nossas famílias pelo apoio e compreensão durante todos esses anos de faculdade, para a realização desse sonho.

Agradecemos especialmente ao Professor Especialista Lincoln Salgado, por nos orientar e apoiar nesse trabalho.

Aos amigos que fizemos durante esses cinco anos de faculdade e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a nossa formação acadêmica.

RESUMO

Um parâmetro importante para a segurança viária é a aderência pneu-pavimento, sendo esta avaliada em microtextura e macrotextura.

Para o cálculo na textura superficial do pavimento será utilizado o Pêndulo Britânico, que contém uma haste emborrachada com característica de simular um pneu de automóvel passando sobre o pavimento. Quando a haste entra em contato com o pavimento, ocorre o atrito, ocasionando uma perda de energia e o equipamento irá registrar um valor de VDR (Valor de Resistência a Derrapagem) comparado com o atrito superficial do ensaio de Mancha de Areia onde a areia é colocada sobre a superfície formando um círculo. São realizadas as medições dos diâmetros formados pela areia, fazendo-se uma média com os valores encontrados. Após esse procedimento, classifica-se a textura superficial da areia conforme o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006).

O estudo será realizado em um segmento da BR – 163 localizado no município de Cascavel - PR, onde se utiliza a pavimentação rígida como alternativa ao tradicional pavimento em CBUQ.

Palavras-chave: Pêndulo Britânico. Mancha de Areia. Textura Superficial.

Lista de figuras

Figura 1: Estruturas de pavimentos.....	4
Figura 2: Ilustração do sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes.....	5
Figura 3: Pavimento de concreto de cimento Portland.....	6
Figura 4: Pêndulo Britânico.....	8
Figura 5: Mapa com a localização do trecho.....	9
Figura 6: Ensaio de mancha de areia.....	12
Figura 7: Resistência á compressão de corpos de prova.....	17
Figura 8: Leitura do pêndulo britânico.....	17
Figura 9: Classificação da microtextura.....	18
Figura 10: Leitura do ensaio de mancha de areia.....	19
Figura 11: Classificação da Mancha de Areia.....	19
Figura 12: Classificação do Pêndulo Britânico.....	19

Lista de tabelas

Tabela 1: Avaliação das Condições de Aderência Pneu Pavimento ou Resistência à derrapagem.....	10
Tabela 2: Avaliação da Resistência à Derrapagem.....	11
Tabela 3: Números de camadas para moldagem dos corpos de prova.....	13

SUMÁRIO

1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 JUSTIFICATIVA.....	2
1.3.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	3
1.3.2 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE.....	3
1.3.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	3
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1.1 Pavimentos.....	4
2.1.2 Especificidades dos pavimentos rígidos	6
2.1.3 Textura superficial de pavimentos.....	7
2.1.4 Coeficiente de atrito dos pavimentos rígidos.	7
2.1.5 Métodos de aferição de atrito superficiais de pavimentos.....	7
2.1.6 Pêndulo britânico.....	8
3.1 METODOLOGIA.....	9
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa	9
3.1.2 Caracterização da amostra	9
3.1.3 Material.....	10
3.1.3.1 Pêndulo Britânico	10
3.1.3.1.1 Procedimentos para coleta de dados	10
3.1.3.2 Marcha de Areia	11

3.1.3.2.1 Procedimento para coleta de dados	11
3.1.3.3 Corpos de prova.....	13
3.1.4 Análise dos dados	15
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
4.1.1 Características das Superfícies Ensaçadas	16
4.1.2 Ensaios e procedimentos utilizados na pista.....	17
4.1.2.1 Pêndulo britânico	17
4.1.2.2 Mancha de Areia	18
4.1.3 Análises	20
5.1 CONCLUSÕES.....	21
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	22
APÊNDICE A	25
APÊNDICE B.....	26

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Conforme a matéria de 2014 sobre pavimentação do site O Globo, No Brasil, 80% das estradas não contam com pavimentação, o que significa que mais de 1,3 milhões de km não são pavimentadas. O país tem 12,1% de rodovias pavimentadas e 7,6% são vias que ainda não saíram do papel.

O pavimento, segundo a NBR-7207/82, tem a seguinte definição: é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento;

Pode ser classificado como:

- **Pavimento Flexível:** São constituídos por camadas que não trabalham à tração. Há deformações até um limite, mas não chegam ao ponto de rompimento. Normalmente são formados por revestimento betuminoso sobre camadas puramente granulares.
- **Pavimento Rígido:** São compostos por camadas que exercem a tração, podendo ser considerado pouco deformável. Seu dimensionamento é baseado, principalmente, de concreto de cimento Portland, as quais são apoiadas em uma camada de transição, a sub-base.

O coeficiente de atrito é utilizado para determinar o nível de aderência entre o pneu e o pavimento, sendo que o mesmo pode evoluir com o tempo devido a um conjunto fatores, como, por exemplo: as características do pavimento (tipo e estado), responsabilidade do condutor (velocidade de circulação e estado dos pneus) e, por fim, as condições atmosféricas (chuva, neve).

A importância do coeficiente de atrito entre o pneu e a pista de rolagem se dá quando o pavimento está molhado e a água atua como lubrificante entre o pneu e a superfície do pavimento. Nessa situação, os pneus começam a deslizar pela pista tornando mais difícil controlar o veículo. Através desse contato, pode-se garantir o atrito obtido quando uma das superfícies está em movimento em relação à outra.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar e comparar os resultados do coeficiente de atrito de um pavimento rígido, com uso de dois métodos distintos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a microtextura da superfície.
- Análise do coeficiente de atrito superficial.
- Comparar os resultados obtidos nas duas análises.
- Comparar os resultados com os indicativos de projeto.

1.3 JUSTIFICATIVA

O atrito ocorre quando um objeto entra em contato com outro e sofre a ação de outra força que tende a colocá-lo em movimento. Sem ele, seria impossível o deslocamento de qualquer tipo de transporte sobre roda, pois é entre a roda e o pavimento que há o agarramento, produzindo movimento pela troca de forças.

1.3.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Existe dificuldade em manter a rugosidade superficial do pavimento durante o processo de execução?

1.3.2 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Para a obtenção dos resultados será realizado ensaio *in situ*, utilizando a Norma ASTM D 1894, além de moldagem e ensaios, para obtenção de atrito superficial de dez corpos de prova.

1.3.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será limitada à análise e comparação do coeficiente de atrito no pavimento rígido, no trecho do km 5 ao km 12 da BR-163 situado na cidade de Cascavel-PR. Além de análise de dez corpos de prova moldados para obtenção do atrito.

A análise será realizada através da utilização do pêndulo britânico, tendo a necessidade de testes laboratoriais. Após esta etapa, será realizada a comparação dos resultados.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Pavimentos

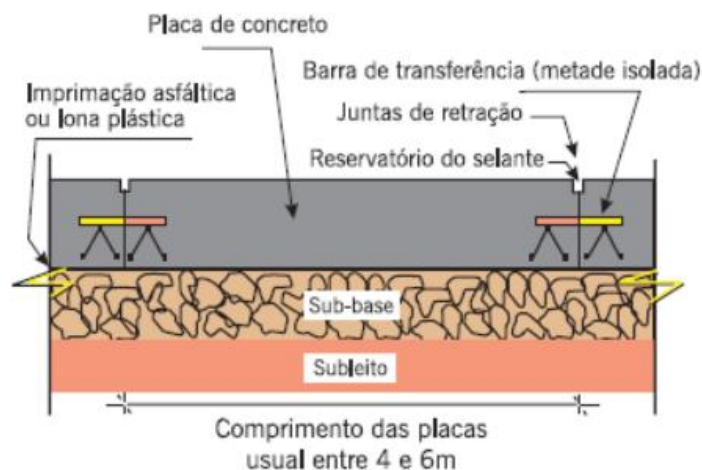
BERNUCCI (2006) menciona que pavimentos são múltiplas camadas de espessuras finitas que formam uma estrutura sobre a superfície final de terraplanagem onde resistem a esforços derivados do fluxo de veículos e do clima, e deve oferecer aos usuários condições melhores de rolamento, proporcionando conforto, economia e segurança.

Os pavimentos são classificados em: *rígidos* e *flexíveis*, porém, existe uma probabilidade de serem nomeados como Pavimento de concreto de cimento Portland (concreto-cimento) e Pavimentos asfálticos, para especificar o tipo de revestimento do pavimento.

Os pavimentos de concreto-cimento são revestimentos de placa de concreto de cimento Portland, pois sua espessura foi escolhida devido ao grau de resistência, à flexão das placas de concreto e a resistência das camadas subjacentes.

As placas de concreto podem ser armadas ou não com barras de aço – Figura 1.

Figura 1. Estruturas de pavimento (BERNUCCI, 2006).



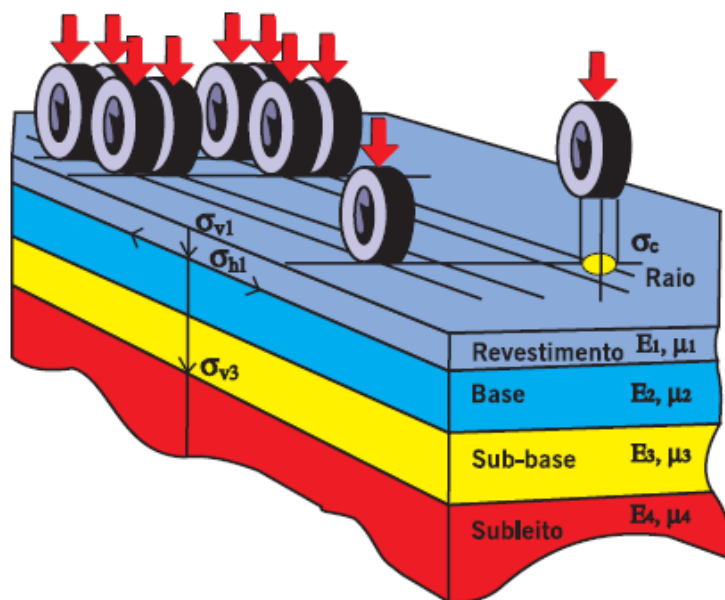
Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada a resistir aos esforços constantes do tráfego de veículos e do clima. Proporciona condições melhores na pista de rolamento, dando aos usuários segurança, conforto e economia.

São compostos por uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, tendo a principal função de resistir á ações de tráfego, transmitindo para as camadas inferiores uma ação cuja força não afeta o pavimento, impermeabilizando o mesmo.

É formado por quatro camadas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito.

As camadas de base, sub-base e reforço do subleito são de suma importância estrutural, pois limitam as deformações e tensões na estrutura do pavimento conforme a Figura 3.

Figura 2. Ilustração do sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes (BERNUCCI, 2006).



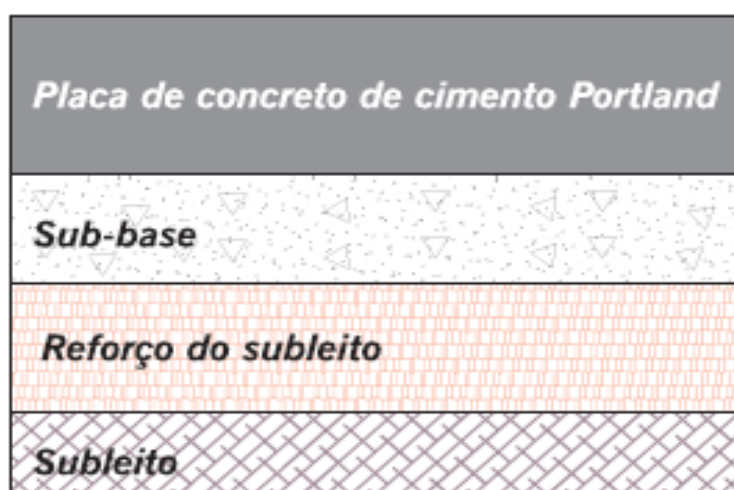
2.1.2 Especificidades dos pavimentos rígidos

Conforme BERNUCCI (2006), os pavimentos rígidos são compostos por uma camada superficial de concreto de cimento Portland (em geral placas, armadas ou não), apoiada geralmente sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento (chamada sub-base), assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito quando necessário. A Figura 3 mostra uma estrutura-tipo de pavimento de concreto de cimento Portland.

No caso dos pavimentos de cimento Portland, devido à elevada rigidez do revestimento quando comparada as demais camadas, as cargas superficiais são distribuídas em uma grande área em relação à área de contato pneu-pavimento, aliviando dessa forma as tensões transmitidas sobre as camadas subjacentes.

A rigidez do revestimento, em relação às demais camadas granulares dos pavimentos asfálticos, não é tão elevada como no revestimento dos pavimentos de cimento Portland, onde as tensões são compartilhadas entre suas camadas, o que proporciona a rigidez.

Figura 3. Pavimento de concreto de cimento Portland (BERNUCCI, 2006).



(a) Estrutura de pavimento-tipo

2.1.3 Textura superficial de pavimentos

Conforme (AZEVEDO, 2010), a textura superficial dos pavimentos pode ser classificada em Microtextura e Macrotextura.

Microtextura correspondente à aspereza e rugosidade superficial dos agregados individualmente, que compõem a mistura asfáltica ou de concreto cimento Portland, que não podem ser vistos a olho nu. Pode-se classificar como rugosa (apresenta arestas vivas) ou polida (superfície é lisa).

Macrotextura refere-se ao tamanho do agregado à faixa granulométrica, aos índices de vazios presentes na mistura e a forma geométrica dos agregados. Pode-se classificar como aberta (apresenta agregados graúdos) ou fechada (presença de elevada quantidade de finos).

2.1.4 Coeficiente de atrito dos pavimentos rígidos.

Conforme o Manual de Pavimentações, as placas estão sujeitas a tensões internas decorrentes das variações volumétricas do concreto, principalmente às retrações ocasionadas pela variação de temperatura e do próprio concreto.

A armadura de retração deve ser posicionada no terço superior da placa e não mais de cinco centímetros da superfície. O coeficiente de atrito que pode variar entre 1,5 e 2,0 cm para garantir a aderência entre o pneu e pavimento.

2.1.5 Métodos de aferição de atrito superficiais de pavimentos.

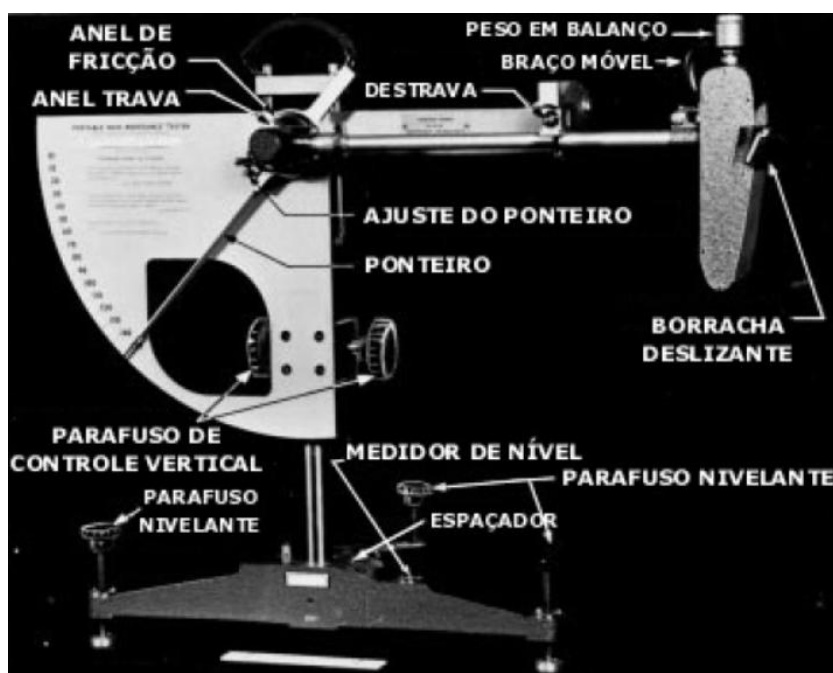
O instrumento utilizado será o pêndulo britânico que se assemelha a um pneu de automóvel. Quando lançado sob o pavimento molhado, sua sapata de borracha entra em atrito com ao pavimento, gerando perda de energia, e assim, o aparelho registrará o valor de BPN (British Pendulum Number) ou VRD (Valor de Resistencia a Derrapagem).

2.1.6 Pêndulo britânico.

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

O equipamento, como mostra a Figura 4, consiste de uma placa de borracha que simula a superfície de um pneumático de veículo automotor montada no extremo de um pêndulo que, quando liberado em queda livre, descreve um arco circular que tangencia e fricciona a superfície do pavimento onde se coloca o aparelho para o ensaio. A diferença de altura entre o centro de gravidade da placa de borracha tomada antes e depois que ela desliza sobre a superfície do revestimento é utilizada para avaliar a perda de energia devido à fricção. As condições do ensaio foram definidas de tal forma que os valores apresentados no mostrador do equipamento corresponderam ao BPN (British Pendulum Number) de um pneumático padrão derrapando sobre o pavimento a 48 km/h (DNIT, 2006).

Figura 4. Pêndulo Britânico (Lopes e Fortes, 2008).



CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

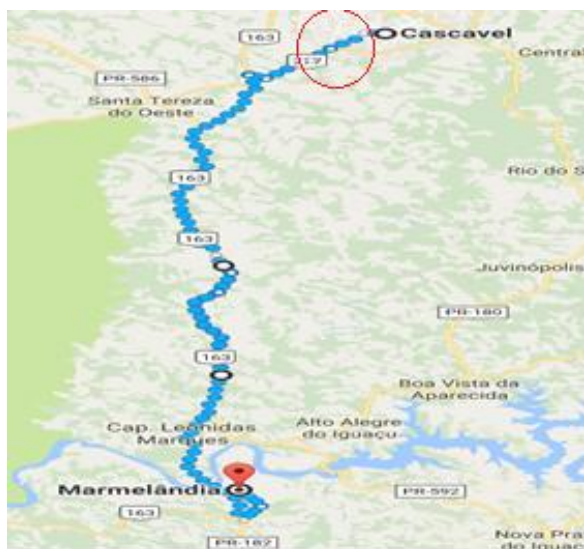
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Trata-se de uma análise do coeficiente de atrito do pavimento rígido do trecho da BR-163 situado em Cascavel – PR, comparado com o coeficiente de atrito obtido em ensaios laboratoriais com corpos de prova deste mesmo trecho.

3.1.2 Caracterização da amostra

O estudo será realizado em um trecho da BR-163 conforme mostra a Figura 5, localizado no município de Cascavel, Paraná, sendo representado na Figura 4 (MAPS). A BR-163 possui 92 km situados entre as cidades de Cascavel e Marmelândia e encontra-se em fase de duplicação.

Figura 5. Mapa com a localização do trecho (Google Maps, 2017).



3.1.3 Material

3.1.3.1 Pêndulo Britânico

3.1.3.1.1 Procedimentos para coleta de dados

Segundo Mattos (2009), para realizar a leitura do Pêndulo Britânico é necessário basicamente zerar a escala da textura, ajustar a área de contato, molhar o pavimento para simular uma situação de hidroplanagem, posicionar e nivelar o Pêndulo Britânico obtendo assim os dados de BPN.

Segundo a ASTM-E-303-93 (1998), devem ser realizadas cinco leituras em cada ponto. Com os valores das leituras, realiza-se uma média, desconsiderando a primeira leitura para assim se obter um valor de BPN.

Após a etapa da leitura do valor de BPN (*British Pendulum Number*), é feita a classificação do pavimento, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Avaliação das Condições de Aderência Pneu Pavimento ou Resistência à Derrapagem (DNIT, 2006).

CLASSES DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM / MÉTODO DO PÊNDULO BRITÂNICO	
CLASSES	VRD - Valor de resistência á derrapagem
PERIGOSA	< 25
MUITO LISA	25 – 31
LISA	32 – 39
INSUFICIENTEMENTE RUGOSA	40 – 46
MEDIAMENTE RUGOSA	47 – 54
RUGOSA	55 – 75
MUITO RUGOSA	> 75

De acordo com a Norma do DNIT 2006 – Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, esta tabela indica os BPN ou VRD para classificação do revestimento de concreto acabado, podendo ser classificados de perigosa até muito rugosa.

3.1.3.2 Marcha de Areia

O ensaio de mancha de areia é realizado para determinar a média de profundidade da altura da mancha de areia na superfície do pavimento, com a finalidade de se obter características de macrotextura.

3.1.3.2.1 Procedimento para coleta de dados

Conforme (PEREIRA, 2010) a coleta de dados deve seguir as especificações da ASTM E965-01:

- Preenchem-se os vazios superficiais do pavimento com um volume de 25.000mm³, aproximadamente 150 mm³ de areia natural (necessário estar limpa, seca e com grãos uniformes).
- Realiza-se o peneiramento do material na peneira de abertura 03mm ficando retida na peneira 0,15mm.
- Com uma escova, limpa-se a superfície que irá estar em contato com a areia.
- Após a superfície estar limpa e seca, coloca-se a areia.
- Com um soquete com base circular e revestido de borracha, efetua-se movimentos circulares para o preenchimento dos vazios existentes no material. Após esses procedimentos, obtém-se uma areia com forma geométrica circular.
- Quando a areia fica na forma de um círculo, mede-se o diâmetro em quatro direções.
- Com o resultado das medições, faz-se uma média para achar o diâmetro médio (Dm).

A Tabela 2. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos mostra a classificação da mancha de areia.

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

O procedimento da mancha de areia consiste em espalhar a areia, com um aparelho específico (espalhador de madeira com revestimento de borracha), em movimentos circulares pela superfície do pavimento. Avalia-se o tamanho da mancha em quatro direções, calcula-se a media e tem-se a altura da macrotextura.

De acordo com (BERNUCCI, 2006) A altura média de mancha de areia pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$HS = \frac{4V}{D^2\pi}$$

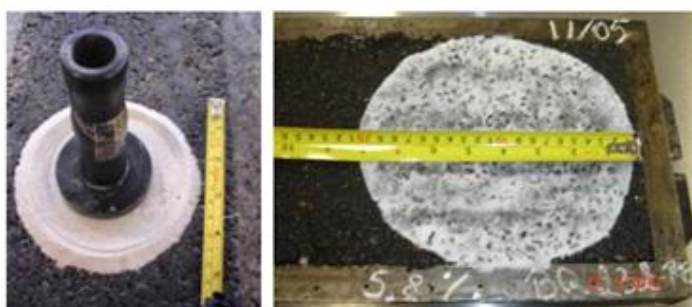
Onde:

HS = altura média de mancha de areia em mm

V = volume constante de areia em mm³

D = diâmetro médio do círculo de areia em mm

Figura 6. Ensaio de mancha de areia (AZEVEDO, 2010).



3.1.3.3 Corpos de prova

Conforme o Manual de Pavimentos Rígidos (2004), na execução dos pavimentos é necessário realizar ensaios para controle de qualidade dos materiais de concreto, que estão relacionados nas normas de execução e controle do tipo de pavimentos rígidos.

Conforme a NBR 5738: 2015, para realizar a moldagem dos corpos de prova é necessário seguir os seguintes procedimentos:

- Necessário ter uma altura igual ao dobro do diâmetro. O diâmetro para o corpo de prova deve ser de: 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm 45 cm. Os diâmetros têm tolerância de 1% e a altura 2 %. A borda circular da extremidade do molde deve ser perpendicular ao eixo longitudinal do molde.
- O preparo da amostra de concreto para o ensaio deve seguir as normas da ABNT NBR NM 33.
- Anotar a data, o local de aplicação do concreto, a hora de adição da água de mistura, o abatimento obtido e a hora da moldagem.
- Os corpos de prova devem possuir dimensão básica de, no mínimo, três vezes maior que a sua dimensão máxima do agregado graúdo do concreto. Caso as partículas com dimensões superiores ao tamanho máximo que forem encontrados na moldagem dos corpos de prova, devem ser eliminadas na fase de peneiramento, de acordo com a ABNT NBR NM 36.
- Os moldes e suas bases devem ser revestidos internamente com lubrificante que não reaja com o cimento.
- A base dos moldes deve ser rígida e horizontal. Durante a moldagem e início da pega, não pode haver qualquer perturbação que possa alterar a forma e as propriedades dos corpos de prova.
- O número de camadas e golpes deve ser respeitado os requisitos da Tabela 3.

Tabela 3. Números de camadas para moldagem dos corpos de prova (NBR 5738: 2015).

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Nº de camadas em função do tipo de adensamento		Nº de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-

- Na realização do adensamento da primeira camada, devem-se distribuir os golpes uniformemente sobre a seção do molde, tomando o cuidado para não atingir a base do molde. Nas camadas seguintes, o adensamento atinge toda a camada a ser adensada, mais 20 mm da camada anterior. É importante dar pequenas batidas na face externa do molde, para tirar possíveis bolhas de ar que se formam no meio do material.
- O preenchimento da última camada deve ser moldado com quantidade a mais de concreto, afim de que, ao ser adensado, preencha todo o volume do molde e seja possível realizar o rasamento, eliminando o material em excesso. Em hipótese alguma é aceito completar o volume do molde com concreto após o adensamento da última camada.
- Para realizar o rasamento da superfície com a borda no molde, é necessária uma régua metálica ou uma colher de pedreiro.
- Após a moldagem, os corpos de prova devem ser colocados em superfície horizontal, sem vibrações que possam perturbar o concreto. Nas primeiras 24 horas, os corpos de prova devem ser armazenados em local protegido de intempéries, sendo cobertos por materiais não reativos e não absorventes, para evitar a perda de água presente no corpo de prova.
- Identificar os corpos de prova antes de serem armazenados.
- Após a identificação, os corpos de prova são armazenados até o momento do ensaio, não podendo ser empilhados e nem ficar expostos à ação da água em movimento.
- Antes de realizar o ensaio com os corpos de prova, é necessário nivelar suas bases de modo que se tornem superfícies planas. Podem ser niveladas através de retificação (quando são utilizados meios mecânicos para tal finalidade) ou capeamento (quando é utilizado material químico compatível com o concreto para tal finalidade).
- Após realizar todos os passos, o corpo de prova está pronto para o ensaio de compressão.

3.1.4 Análise dos dados

Os dados foram analisados de acordo com os resultados obtidos e subsidiados conforme as revisões estudadas. A apresentação das análises foi realizada por meio de tabelas encontradas em bibliografias.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo CHELLIAH et al. (2003) apud MASAD et al. (2009), vários fatores influenciam na resistência à derrapagem de um pavimento. Os autores citam: macro e microtextura, idade da superfície do pavimento, variações sazonais, intensidade do tráfego, propriedades dos agregados e geometria da rodovia. O conhecimento das características do pavimento em análise é de suma importância para o presente trabalho.

Como o pavimento utilizado no estudo trata-se de um pavimento rígido e os agregados tem procedência única, torna-se mais simples a verificação, pois, incongruências nos resultados, limitaram a aplicação do método. É evidente que o ambiente de aplicação dos materiais (equipes, horários, climatologia) também pode ser fator determinante para incongruências, contudo, o segmento fora executado em um mesmo período de tempo, o que minimiza estas possíveis divergências.

Para a realização dos ensaios foram escolhidos os pontos com as superfícies mais representativas do trecho, ou seja, os locais com maior homogeneidade nas características superficiais.

As características individuais de cada ponto ensaiado podem ser vistas nos Apêndices A e B.

4.1.1 Características das Superfícies Ensaçadas

As superfícies ensaiadas em campo foram às superfícies em CA que possuem variações que influenciam diretamente na aderência pneu-pavimento. Buscaram-se informações sobre o traço destas misturas para verificar o grau de influência nos parâmetros de aderência pneu-pavimento. Desta forma, foram moldados corpos de prova de concreto, a

fim de verificar a resistência à compressão dos mesmos, o que pode ser confirmado conforme Figura 7 (O Autor, 2017).

RESISTENCIA A COMPRESSÃO				
CP		RESISTENCIA EM MPA		
N.	MEDIDA (CM)	CARGA (kgf/cm ²)	RESISTENCIA (MPA)	OBS
1	10X20	366,00	35,87	OK
2	10X20	358,00	35,08	OK
3	10X20	375,00	36,75	OK
4	10X20	372,00	36,46	OK
5	10X20	374,00	36,65	OK
6	10X20	377,00	36,95	OK

Os corpos de prova foram moldados com o mesmo traço de concreto utilizado para a execução do pavimento.

4.1.2 Ensaios e procedimentos utilizados na pista

4.1.2.1 Pêndulo britânico

Leitura do pêndulo britânico Figura 8 (O Autor, 2017).

ASTM E-303								
LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS DE LEITURA		BPN						OBSERVAÇÕES
ESTACA	FRAÇÃO	LEITURA 1	LEITURA 2	LEITURA 3	LEITURA 4	LEITURA 5	MEDIA 4 ULTIMAS	
5		79	77	77	73	72	74,75	
10		77	75	72	69	71	71,75	
15		78	76	73	70	72	72,75	
20		77	75	72	72	70	72,25	
25		78	75	75	71	71	73	
30		79	76	75	72	72	73,75	
35		79	77	72	71	69	72,25	

A classificação da microtextura com o pêndulo britânico (ABPV, 1998 *apud* APS, 2006) segue conforme Figura 9 (O Autor, 2017).

	Classificação	Limites BPN
P	Perigosa	< 25
ML	Muito Lisa	25 – 31
L	Lisa	32 – 39
IR	Insuficientemente Rugosa	40 – 46
MR	Medianamente Rugosa	47 – 54
R	Rugosa	55 – 75
MuR	Muito Rugosa	> 75

Para estes, em todos os ensaios realizados, a textura que se obteve como resultado foi à rugosa.

A macrotextura é definida pela forma, tamanho e graduação dos agregados e da mistura do pavimento (rugosidade visível a olho nu). É responsável pela aderência entre o pneu e o pavimento (inclusive em altas velocidades). Também é responsável por drenar a água sobre o pavimento de modo que não se acumule sobre a microtextura, permitindo a aderência entre o pneu e o pavimento. Ao longo do tempo sofre uma perda de suas propriedades causadas pelo desgaste dos agregados do revestimento.

O menor valor encontrado de BNP foi de 71,75 e o maior 74,75, ambos enquadrando a superfície como rugosa conforme os limites observados na Figura 7, onde a classificação R varia o BNP de 55 a 75, fazendo com que a superfície fique muito próxima da classificação muito rugosa que tem BNP acima de 75.

4.1.2.2 Mancha de Areia

Leitura do ensaio de mancha de areia conforme Figura 10 (O Autor, 2017).

Figura 10. Leitura do ensaio de Mancha de Areia (O Autor, 2017).

ASTM E-965-01								
LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS DE LEITURA		BPN						
ESTACA	FRAÇÃO	Diametro (cm)	VOLUME 1	HS 1	Diametro (cm)	VOLUME 2	HS 2	MEDIA HS
5		20,32	19,95	0,98	18,08	21,69	1,20	1,09
10		20,86	21,70	1,04	16,64	18,31	1,10	1,07
15		16,76	18,21	1,09	19,21	21,13	1,10	1,09
20		17,50	22,17	1,27	16,81	20,17	1,20	1,23
25		19,42	17,08	0,88	18,85	15,08	0,80	0,84
30		16,84	20,40	1,21	19,73	21,70	1,10	1,16
35		20,87	25,82	1,24	20,28	20,28	1,00	1,12

Esta obteve o menor valor de HS 0,84 e o maior 1,23.

Conforme classificação dos resultados da Figura 11, pode-se verificar que pelo ensaio de mancha de areia que a mesma possui classificação grossa, o que garante singularidade dos resultados obtidos no ensaio de pêndulo britânico. Conforme a Figura 12, temos:

Figura 11. Classificação da Mancha de Areia

Classificação	Limites (mm)
Muito Fina	$HS \leq 0,20$
Fina	$0,20 < HS \leq 0,40$
Média	$0,40 < HS \leq 0,80$
Grossa	$0,80 < HS \leq 1,20$
Muito Grossa	$HS > 1,20$

Figura 12. Classificação do Pêndulo Britânico

Classificação	Limites (mm)
Muito Fina	$HS \leq 0,20$
Fina	$0,20 < HS \leq 0,40$
Medianamente Fina	$0,40 < HS \leq 0,60$
Média	$0,60 < HS \leq 0,80$
Medianamente Grossa	$0,80 < HS \leq 1,00$
Grossa	$1,00 < HS \leq 1,20$
Muito Grossa	$HS > 1,20$

Para um melhor ajuste, foram incorporadas mais duas faixas na classificação da mancha de areia para tornar compatível o número de faixas para o pêndulo britânico, resultando na Figura 12.

4.1.3 Análises

Os ensaios feitos em campo foram realizados de acordo com a descrição que consta no Capítulo 3 que tem como objetivo a execução de uma série de testes em campo que visa constatar se há deficiência na aderência pneu-pavimento e a falta de uma drenagem eficiente. Estes são fatores relevantes no quesito segurança nas estradas investigadas.

Como se pode verificar em ambos os ensaios realizados, as características de rugosidade da pista apontam para uma pista com textura rugosa e classificada como textura grossa, o que é positivo tanto para o tocante ao atrito entre o pneu e o pavimento, quanto para a drenagem superficial. Isso diminui expressivamente a possibilidade de hidroplanagem em dias de chuva.

Pode-se verificar também que ambos os métodos apontaram para resultados semelhantes, cada um dentro de suas peculiaridades.

É importante ressaltar ainda que a aferição destes equipamentos, principalmente o do pêndulo britânico, deve ser considerada como passiva de determinante no resultado.

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSÕES

A fase de concepção da mistura de um revestimento (traço) é de grande importância, não só no aspecto da mecânica dos pavimentos, mas na sua funcionalidade. Tendo em vista que os pavimentos são dimensionados para suportar cargas dinâmicas, os mesmos estão sujeitos a ações de intemperismos ou, até mesmo, a choques e outras ações não previstas em projeto que podem danificar suas características geométricas e funcionais.

Foi possível realizar os ensaios conforme objetivados e descritos nos procedimentos. Os ensaios realizados mostraram, por sua vez, que são eficientes na aferição das texturas de pavimentos. Vale ressaltar que o pêndulo britânico utilizado na realização dos ensaios estava com seu certificado de aferição vencido, contudo, segundo o proprietário do mesmo, após a aferição, ele não fora utilizado até a realização desta pesquisa. Outra consideração que deve ser feita é sobre o procedimento da mancha de areia, visto que a prática do executor pode garantir uma melhor resposta ao ensaio.

Esta abordagem não avaliou a condição de atrito e sim um dos fatores que pode incidir sobre ele. Talvez, em se tratando de pavimento, o principal fator para se obter resultados confiáveis e que estão em conformidade com os requisitos mínimos de segurança previstos pelas normativas brasileiras, contudo, não garantem que estas condições mantenham-se após a abertura da pista para o tráfego.

As resistências abrasivas destes pavimentos devem ser testadas a fim de assegurar que esta rugosidade se mantenha com o tráfego.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com os ensaios do Pêndulo britânico e de Mancha de areia, obtivemos resultados satisfatórios para a determinação da microtextura e macrotextura em um segmento da BR-163, localizado na cidade de Cascavel-PR.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se realizar o ensaio de DF Tester e μ -meter (Mu-meter) no mesmo segmento.

Ainda, sugere-se efetuar ensaios adicionais e complementares a partir do momento em que a pista for liberada para tráfego.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERNAZ, C.A.V. *Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia de deflexão*. 1997. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

APS, M. (2006) Classificação da Aderência Pneu-Pavimento pelo índice Combinado IFI - International Friction Index para Revestimentos Asfálticos . Tese de Doutorado, Escola Politécnica-USP, São Paulo, SP

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASTM E303-93(1998), Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998.

ASTM E965-96(2001), Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1996.

AZEVEDO, C. P. Análise da aderência pneu-pavimento em rodovias do estado de Pernambuco e da Paraíba com elevado índice de acidentes. Tese de Pós-Graduação – Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: ABEDA 2006.

DNIT, Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos – 2ª Ed. - Rio de Janeiro, 2004.

DNIT, Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos – 2ª Ed. - Rio de Janeiro, 2005.

DNIT, Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos – 2ª. Ed – Rio de Janeiro, 2006.

<https://oglobo.globo.com/brasil/no-brasil-80-das-estradas-nao-contam-com-pavimentacao-13710994>

LAY, J. B. C. (1998) Friction and Surface Texture Characterization of 14 Pavement Test Sections in Greenville, North Carolina. Transportation Research Record 1639, North Carolina, USA

LOPES, L. G. R., FORTES, R.M.(2008). Estudo da Aderência Pneu-Pavimento para Diferentes Tipos de Texturas de Pavimentos em Pistas de Kartódromos. Coninfra — congresso de infraestrutura de transportes, 25 a 28 de junho de 2008, São Paulo – Brasil.

MASD, E.; REZAEI, A.; CHOWDHURY, A.; HARRIS, P. (2009) *Predicting Asphalt Mixture Skid Resistance Based on Aggregate Characteristics*. Texas Transportation Institute. The Texas A&M University System. College Station, Texas, USA.

NORMA DNIT 031/2004 - ES, Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço.

Universidade Federal de Juiz de Fora, Notas de Aula Prof. Geraldo. Disponível em: www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf

APÊNDICE A



MANCHA DE AREIA								
ASTM E-965-01								
INTERESSADO:							REGISTRO:	
ACADEMICO							SEM REG.	
OBRAS:							DATA:	
BR - 163							13/09/2017	
LOCALIZAÇÃO:								
277 - SANTA TEREZA								
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:					OBS:			
LINCOLN SALGADO					Operado por engº Lincoln Salgado			
ASTM E-965-01								
LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS DE LEITURA		BPN						
ESTACA	FRAÇÃO	Diametro (cm)	VOLUME 1	HS 1	Diametro (cm)	VOLUME 2	HS 2	MEDIA HS
5		20,32	19,95	0,98	18,08	21,69	1,20	1,09
10		20,86	21,70	1,04	16,64	18,31	1,10	1,07
15		16,76	18,21	1,09	19,21	21,13	1,10	1,09
20		17,50	22,17	1,27	16,81	20,17	1,20	1,28
25		19,42	17,08	0,88	18,85	15,08	0,80	0,84
30		16,84	20,40	1,21	19,73	21,70	1,10	1,16
35		20,87	25,82	1,24	20,28	20,28	1,00	1,12
RESULTADOS								
MAIOR VALOR							1,28	
MENOR VALOR							0,84	
MÉDIA							1,09	
HS							1,09	
RESULTADO							GROSSA	
OBSERVAÇÕES:								
PAVIMENTO NOVO - EXECUÇÃO EM JANEIRO DE 2017								
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:					TÉCNICO RESPONSÁVEL:			

APÊNDICE B



CONSTRUTORA DE OBRAS LTDA.
BR - 277, Km 687,6, Serra do Mico **Tel/Fax.: (45)3565 - 1183**
São Miguel do Iguaçu - Pr **e-mail: sampnet@gmail.com**
CEP - 85877-000 **CNPJ: 02.810.894/0001-00**

PENDULO BRITANICO								
ASTM E-303								
INTERESSADO:							REGISTRO :	
ACADEMICO							SEM REG.	
OBRA:							DATA :	
BR - 163							16/08/2017	
LOCALIZAÇÃO:								
277 - SANTA TEREZA								
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:					OBS:			
LINCOLN SALGADO					Operado por engº Lincoln Salgado			
ASTM E-303								
LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS DE LEITURA		BPN						
ESTACA	FRAÇÃO	LEITURA 1	LEITURA 2	LEITURA 3	LEITURA 4	LEITURA 5	MÉDIA 4 ULTIMAS	OBSERVAÇÕES
5		79	77	77	78	72	74,75	
10		77	75	72	69	71	71,75	
15		78	76	78	70	72	72,75	
20		77	75	72	72	70	72,25	
25		78	75	75	71	71	78	
30		79	76	75	72	72	78,75	
35		79	77	72	71	69	72,25	
RESULTADOS								
MAIOR VALOR							74,75	
MENOR VALOR							71,75	
MÉDIA							72,75	
BPN							72,75	
RESULTADO							RUGOSA	
OBSERVAÇÕES:								
PAVIMENTO NOVO - EXECUÇÃO EM JANEIRO DE 2017								
DATA DE AFERIÇÃO DO EQUIPAMENTO 08/02/2016								
EMBORA NÃO TENHA SIDO UTILIZADO NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE A DATA DA UTILIZAÇÃO E A ÚLTIMA AFERIÇÃO, O EQUIPAMENTO ESTÁ COM A AFERIÇÃO VENCIDA.								
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:					TÉCNICO RESPONSÁVEL:			