



FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS

CURSO: ENGENHARIA CIVIL

VITOR CORDEIRO GALVÃO PEREIRA

Matricula: 2135706/0

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO PAVIMENTO
FLEXÍVEL DE UM TRECHO NA ASA NORTE, BRASÍLIA/DISTRITO
FEDERAL**

Brasília

2017



VITOR CORDEIRO GALVÃO PEREIRA

Matricula: 2135706/0

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO PAVIMENTO
FLEXÍVEL DE UM TRECHO NA ASA NORTE, BRASÍLIA/DISTRITO
FEDERAL**

Trabalho de Curso (TC)
apresentado como um dos requisitos para
a conclusão do curso de Engenharia Civil
do UniCEUB – Centro Universitário de
Brasília.

Orientador: **Prof.** Rideci Farias, D.Sc.

Brasília

2017



VITOR CORDEIRO GALVÃO PEREIRA

Matricula: 2135706/0

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO PAVIMENTO
FLEXÍVEL DE UM TRECHO NA ASA NORTE, BRASÍLIA/DISTRITO
FEDERAL**

Trabalho de Curso (TC)
apresentado como um dos requisitos para
a conclusão do curso de Engenharia Civil
do UniCEUB– Centro Universitário de
Brasília.

Orientador: **Prof.** Rideci Farias, D.Sc.

Brasília

2017

Banca Examinadora

Haroldo da Silva Paranhos

Eng^a.Civil:

Jairo Furtado

Eng^o. Civil:

Rideci Farias

Eng^o. Civil:



AGRADECIMENTOS

Gostaria de primeiramente agradecer a Deus, pois sem ele nem mesmo a oportunidade de iniciar o curso de engenharia eu teria. Então todos os méritos devem ser para Ele. Agradecer também a N.Sra por sempre interceder por todas as minhas dificuldades durante todo o percurso.

O meu muito obrigado a todos que participaram de alguma forma na minha formação, estas pessoas fizeram com certeza uma grande diferença na minha vida. Obrigado aos meus pais, minha namorada, todos os meus amigos e também aos meus colegas de trabalho.

RESUMO

As ruas, avenidas e rodovias são construídas com o uso do asfalto. O asfalto em conjunto com as camadas de suporte a saber: base, sub-base e subleito formam o pavimento flexível, esse largamente utilizado como faixa de rolamento para automóveis.

Este estudo visa avaliar características físicas do revestimento, camada mais superficial do pavimento ao qual os automóveis têm contato direto, e comparar os valores obtidos dessas características com as especificações de serviço apresentadas pela norma DNIT 031/2006, dessa forma será possível deduzir em qual ou em quais dos parâmetros definidos por essa norma estão os motivos das patologias, tão comumente encontradas nas vias.

Para obter os valores reais dos trechos de vias analisados e compará-los a norma, ensaios laboratoriais tais como análises granulométricas, estabilidade, densidades reais aparentes e resistência à tração.

Os ensaios foram realizados em amostras coletadas de três vias localizadas na Asa Norte, Brasília/DF.

Os estudos realizados nas amostras, retiradas *in loco*, permitiram concluir que o trecho de 500 metros composto pelas três avenidas: L2 Norte, L4 Leste e na via da Universidade de Brasília (UNB) pode estar, seriamente, comprometido, pois do total de 44 amostras coletadas, ao longo das três vias, somente uma delas está apta em todos os ensaios, demonstrando que apenas 2,3% do trecho apresenta boas condições de uso.

ABSTRACT

The streets, avenues and roads are built using asphalt. The asphalt along with the support layers, layers namely: base course, sub-base and subgrade; All of these make up the asphalt paving, this is widely using like rolling range to autos.

This study aims to evaluate some physical characteristics just of the asphalt surface, most superficial layer of the pavement, which the autos touch directly, and to compare the values get of this characteristics with the service specifications introduced by the standard, DNIT 031/2006, in this way will be possible to deduce which parameters defined by this standard are the pathologies, frequently find on the urban roads.

In order to get the real values of this avenues parts analyzed e compared with the standard, laboratory tests such as granulometric analysis, Marshall stability and fluency, apparent density and tensile resistance Brazilian test.

The tests were accomplished at three urban roads situated in Asa Norte, Brasilia/Federal District.

The studies carried out at the studies objects, extracts on the spot, allowed to conclude that the five hundred meters stretch composed for three avenues: L2 Norte, L4 Leste and on the Brasilia University street (UNB) can be, seriously, compromised, because just one of the forty-four samples, collect along of the three avenues, is approve for all the tests, evidencing that 2,3% of the stretch shows goods uses conditions.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVOS GERAIS	14
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
3. JUSTIFICATIVA	15
4. REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1 INTRODUÇÃO A PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	16
4.2 ESTRUTURA DE UMA RODOVIA COM PAVIMENTO FLEXÍVEL	17
4.3 REVESTIMENTO ASFÁLTICO	18
4.4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO	19
4.5 INFLUÊNCIA DO CLIMA NO PAVIMENTO	23
4.6 MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO DO PAVIMENTO	25
4.7 PATOLOGIAS ENCONTRADAS NAS VIAS URBANAS	27
5. METODOLOGIA	31
5.1 PARÂMETROS GERAIS	31
5.2 MODELO DE ESTUDO	31
5.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO	32
5.4 ENSAIOS LABORATORIAIS (Amostra Natural)	32
5.5 ENSAIOS LABORATORIAIS (Remoldagem)	40
6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	43
6.1 ESPESSURA	44
6.2 GRANULOMETRIA	47
6.3 PORCENTAGEM DE VAZIOS	53
6.4 RELAÇÃO BETUME/VAZIOS	58
6.5 GRAU DE COMPACTAÇÃO	60
6.6 ESTABILIDADE	61



6.7 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.....	63
8. CONCLUSÃO.....	67
9. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	70
10. REFERÊNCIAS.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Pavimento em mal estado de conservação.	12
Figura 2 - Pavimento em mal estado de conservação.	13
Figura 3 – Antiga estrada romana.	16
Figura 4 - Camadas componentes do pavimento flexível.	17
Figura 5 - Determinação da espessura total do pavimento de acordo com o número N.	21
Figura 6 - Especificação das camadas componentes do pavimento, a fim de correlaciona-las a fórmula.	21
Figura 7 - Drenagem - Sarjeta lateral.	24
Figura 8 - Vida útil da estrutura com e sem manutenção.	27
Figura 9 - Influência das cargas nas camadas do pavimento.	30
Figura 10 - Extração de corpos de provas asfálticos.	32
Figura 11 - Prensa para a realização dos ensaios de estabilidade e fluência.	33
Figura 12 - Medição das espessuras.	33
Figura 13 - Prensa para a realização do ensaio de resistência à tração.	34
Figura 14 - Retirada das camadas granulares em contato com o revestimento.	34
Figura 15 - Medição das espessuras.	35
Figura 16 - Extração de betume por meio do Rotarex.	36
Figura 17 - Ensaio de Granulometria.	37
Figura 18 - Ensaio de densidade por meio da balança hidrostática.	38
Figura 19 - Densidade aparente dos agregados miúdos.	39
Figura 20 - Amostras mantidas a 60°C no "banho Maria".	40
Figura 21 - Ensaio Marshall.	41
Figura 22 - Soquete, ensaio Marshall.	41
Figura 23 - Pontos de extração.	44
Figura 24 - Relação das amostras dentro e fora dos padrões normativos.	45
Figura 25 (a) a 24 (d) - Faixas granulométricas.	48
Figura 26 - Relação de amostras dentro, acima de 50% e abaixo de 50% fora da norma.	54
Figura 27 - Relação Estabilidade x Teor de resíduos.	62
Figura 28 - Comparação das porcentagens patológicas.	66

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Determinação da espessura do revestimento.	20
Tabela 2 - Coeficiente estrutural K referente ao tipo de camada de suporte.	22
Tabela 3 - Principais patologias no pavimento e suas causas.	28
Tabela 4 - Comparação das espessuras dos corpos de prova com a norma.	46
Tabela 5 - Faixas granulométricas estabelecidas por norma.	47
Tabela 6 - Faixas granulométricas.	50
Tabela 7 - Índice de vazios encontrado nas amostras e comparados à norma.....	55
Tabela 8 - Relação betume vazios - DNIT 031/2006.....	58
Tabela 9 - Relação betume/vazios.	59
Tabela 10 - Teor de ligante.	60
Tabela 11 - Grau de compactação médio dos corpos de prova.	61
Tabela 12 - Estabilidade das amostras comparadas à norma.	63
Tabela 13 - Resistência à tração na compressão diametral.....	64
Tabela 14 - Patologias encontradas nas pistas.....	65

1.INTRODUÇÃO

Dentro de uma cidade o modal rodoviário é o principal meio de locomoção. É por meio de ruas, avenidas e rodovias asfaltadas que as pessoas se deslocam intensamente todos os dias. De acordo com os dados de 2014 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Brasília possui o maior Produto Interno Bruto Per Capita do Brasil com R\$ 69.216,80. Portanto o sistema rodoviário tem grande influência na economia, devido ao fato de permitir o deslocamento de pessoas e o transporte de mercadorias.

Segundo dados de 2016 da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), o Distrito Federal, com 908km de rodovias, é o segundo menor estado com malha rodoviária no Brasil, na frente apenas do Amapá com 528,1km. Ao contrário da pequena malha rodoviária, o Distrito Federal tem a quarta maior população do Brasil, segundo estimativa do IBGE, com 3.039.444 milhões de habitantes. Pode-se inferir desses dados que o fluxo de carros sobre a malha rodoviária do Distrito Federal é intenso, devendo, assim, ser feito um dimensionamento correto do pavimento. A situação dos pavimentos flexíveis encontrados nas avenidas e ruas do Distrito Federal apresenta pontos a serem melhorados.

A quantidade de problemas encontrados em pouco tempo de incidência de fluxo sobre o pavimento instiga uma série de estudos para avaliar:

- ❖ Porque o pavimento se degrada tão rapidamente?
- ❖ O problema está na qualidade do material empregado ou está no momento da execução ou ainda no projeto?
- ❖ De quem é a responsabilidade, do governo ou das construtoras?

Com intuito de responder esta série de perguntas, uma variedade de estudos foi feita visando extrair amostras de algumas vias da Asa Norte, pouco tempo após sua construção, e submetê-las aos seguintes ensaios: granulometria, estabilidade, fluência, resistência à tração, densidade, teor de ligante, *etc.*

Para comparar os números obtidos com a norma que estabelece os valores limites para os ensaios citados anteriormente, as amostras foram coletadas pelo Tribunal de Contas do Distrito Federal (TCDF) em três vias localizadas na Asa Norte em Brasília (Parte central do Distrito Federal), englobando uma extensão de 500 metros.

Estes estudos e ensaios laboratoriais – realizados pelo TCDF, no laboratório (InfraLab) da Universidade de Brasília (UNB) - permitiram caracterizar aspectos importantes na composição do pavimento flexível, sobre o qual as pessoas transitam diariamente.

Uma avaliação minuciosa dos materiais e das características que o pavimento apresenta quando submetido a determinadas condições pode evitar futuros transtornos, pois um estudo bem feito afeta de maneira significativa a vida útil, o conforto dos usuários, a prevenção de acidentes e principalmente a redução dos custos devidos a manutenções desnecessárias antes do tempo.

A degradação prematura das edificações ou suas partes, e a conseqüente redução de desempenho, é um problema frequente em todo o mundo. Esta deterioração ocorre devido, sobretudo, ao envelhecimento precoce das mesmas, o qual geralmente é desencadeado pela baixa qualidade dos materiais de construção empregados, por problemas de projeto e execução e falta de manutenção. (POSSAN e DEMOLINER, 2013).

De acordo com a citação supracitada, mesmo não sendo empregada para pavimentos, é possível inferir que um estudo a respeito da qualidade e das características dos materiais utilizados tem uma extrema importância, da mesma forma a manutenção. As Figuras 1 e 2 apresentam pavimentos mal conservados e devido a esse fato o surgimento de patologias.

Figura 1 - Pavimento em mal estado de conservação.



Fonte: TCDF (2015).

Figura 2 - Pavimento em mal estado de conservação.



Fonte: TCDF (2015).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem como objetivo principal e geral, comparar parâmetros dos pavimentos obtidos por meio de ensaios laboratoriais e compará-los com os normativos estabelecidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), para avaliar se estão em boas condições e para isso devem respeitar os parâmetros definidos pelos normativos que afetam diretamente na qualidade e na vida útil do pavimento.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Dentre os objetivos específicos buscados por este trabalho, tem-se:

- A medição das espessuras;
- Uma análise da distribuição granulométrica (DNER-ME 083/98);
- O cálculo da porcentagem de vazios;
- A mensuração da relação betume/vazios;
- O cálculo do Grau de compactação;
- A verificação da estabilidade do concreto asfáltico;
- A medição da resistência à tração na compressão diametral.

Com os valores obtidos nos diversos procedimentos acima citados faz-se possível compará-los com a norma DNIT 031/2006, norma que determina as especificações de serviço aplicadas a pavimentos flexíveis.

3. JUSTIFICATIVA

O asfalto é um dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem. O uso em pavimentação é um dos mais importantes entre todos e um dos mais antigos também. Na maioria dos países do mundo, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. No Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também utilizado em grande parte das ruas. (BERNUCCI *et al.*, 2008. p. 25).

O fluxo de veículos está cada vez maior, devido ao aumento da densidade demográfica e da renda individual das pessoas. Pode-se deduzir então que os pré-requisitos de 10,15 ou 20 anos atrás não são os mesmos dos dias atuais, conseqüentemente, os pavimentos construídos nessa época apresentarão patologias.

Como é possível observar por meio dos principais meios de comunicação, a condição das estradas, avenidas e ruas piora a cada dia. Problemas como buracos, trincas, afastamento do asfalto para longe da trilha de roda, afetam diretamente na qualidade das viagens dos motoristas, tanto no aspecto psicológico quanto no aspecto financeiro, devido aos estragos que esses defeitos causam na mecânica dos veículos.

Este estudo proporcionará uma avaliação dos aspectos físicos, da condição atual de algumas avenidas do bairro ASA NORTE (Brasília/DF), dos materiais utilizados na construção do pavimento e com a incidência do fluxo quais são os problemas que a pista apresentou. Concomitantemente é possível ter senso crítico do que poderia ser melhor para o fluxo atual, se o problema está em todas as características ou só nas que são mais relevantes.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 INTRODUÇÃO A PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Com o início do uso dos transportes sobre rodas pelos seres humanos, viu-se uma grande necessidade de construir superfícies planas que oferecessem mais conforto para quem trafegava por esses meios, ainda que as primeiras estradas pavimentadas não tinham ainda o intuito da passagem de rodas sobre as mesmas.

Uma das mais antigas estradas pavimentadas implantadas não se destinou a veículos com rodas, mas a pesados trenós destinados ao transporte de cargas elevadas. Para construção das pirâmides (2600-2400 aC), vias com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte. Atrito era amenizado com umedecimento constante (água, azeite, musgo molhado). (BERNUCCI *et al.*, 2008. p. 11).

A necessidade de deslocamento e transporte de materiais, de maneira mais eficiente, incitou nos romanos a criação de veículos com rodas, os primeiros veículos tinham rodas de aço e dessa forma necessitavam de estradas mais resistentes àquele tipo de solicitação. Os Romanos então construíram estradas mais reforçadas utilizando pedregulhos, limalha de aço e carbonato de cálcio, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Antiga estrada romana.



Fonte: BERNUCCI *et al.*, (2008).

Segundo Portogente (2016), por volta dos séculos XVII e XVIII com a expansão do transporte humano por carruagens, a pavimentação deu um salto enorme, nesse período dois escoceses, Thomas Telford e John McAdam, criaram parâmetros de

avaliação das rodovias semelhantes aos atuais, tais como drenagem, fundações e superfícies resistentes, nessa época o asfalto passou a ser fortemente utilizado como ligante das pedras britadas, que já eram largamente utilizadas.

O surgimento dos veículos modernos sobre rodas levou a tecnologia a um aperfeiçoamento do revestimento das estradas. Tornou-se, então, necessário para que esses automóveis desenvolvessem maiores velocidades, revestimentos mais lineares que não trepidassem e mantivessem a estabilidade, dessa forma o cimento asfáltico de petróleo (CAP) e o cimento asfáltico natural (CAN) passaram a ser utilizados como revestimento das rodovias em geral.

Segundo Pinto e Pinto (2015), o asfalto pode ser encontrado em dois estados o natural e o derivado do refinamento do petróleo, esses são obtidos especialmente para apresentar características adequadas para o uso em construção de pavimentos, eles possuem características como: flexibilidade, durabilidade, aglutinação, impermeabilização e elevada resistência à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis.

4.2 ESTRUTURA DE UMA RODOVIA COM PAVIMENTO FLEXÍVEL

Geralmente a via é composta por 4 camadas, são elas o revestimento, que é o objeto de análise deste trabalho, a base, sub-base e subleito, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Camadas componentes do pavimento flexível.



Fonte: BATISTA (2007)

Em Brasília, a grande maioria dos revestimentos são de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). Segundo Bernucci *et al.* (2008), o revestimento é a camada mais superficial, entra diretamente em contato com as rodas dos veículos.

Desse contato resultam grandes esforços de compressão e tração destinando-o a melhorar as condições de rolamento e resistir aos esforços horizontais que nele atuam.

A base tende a ser a camada com maior resistência a esforços, pois tem a função de resistir aos esforços e distribuí-los ao solo, principalmente ao subleito. Essa camada por ser a de maior Índice de Suporte Califórnia, deve ser bastante rígida. A base localiza-se abaixo do revestimento e exerce função estrutural na composição do pavimento. Geralmente sendo construída com brita graduada simples (BGS).

A sub-base é uma camada complementar à base, pois muitas vezes não é tecnicamente e nem economicamente viável, construir a base diretamente sobre o subleito, conseqüentemente, como camada complementar à base, deve ter uma boa capacidade de suporte. Também trabalha evitando esforços de bombeamento, que são esforços exercidos no sentido contrário da força exercida pelo tráfego na pista, ou seja, parte do subleito com sentido ao revestimento. Normalmente feita de brita com adição de estabilizantes, como asfalto, cimento, cal ou até mesmo solo.

A última camada que forma o pavimento é o subleito, caso não se encontre no subleito solos com índice de suporte Califórnia muito baixos, nesses casos é preciso fazer um reforço do subleito – esse reforço será uma camada à mais no pavimento e estará posicionado acima do subleito. Sobre a última camada, ou seja, sobre o terreno natural de fundação do pavimento será construído todo o pavimento e da mesma forma que nas outras etapas, também deve ser feito um estudo nessa camada pois as tensões advindas sobre o revestimento transmitem-se a essa. O subleito é construído com o emprego de solo natural, devendo ser regularizado para evitar patologias.

4.3 REVESTIMENTO ASFÁLTICO

O asfalto utilizado em pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoplastico, impermeável à água e pouco reativo. (BERNUCCI *et al.* 2008). Em Brasília, e também no Brasil, o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) é o tipo de revestimento mais utilizado, segundo Bernucci *et al.* (2008), o CBUQ é o produto da mistura convenientemente proporcionada de agregados de variados tamanhos com o cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas.

Para conseguir essas características citadas anteriormente, devem ser empregados materiais de boa qualidade destinados a esse fim específico. Segundo De Castro (2015), os materiais que compõem o concreto asfáltico são divididos em dois grupos:

- Agregados;
- Asfalto.

Nos agregados estão contidos a parte sólida do concreto, composto por uma mistura de britas, pedrisco/pó de pedra, areia natural e *filler* (material sem plasticidade, extremamente fino destinado a preencher as limitações granulométricas).

O tipo de CAP depende do clima da região e da intensidade do tráfego variando entre os diversos tipos de CAP, classificados de acordo com a sua viscosidade. O asfalto é extraído a partir da destilação fracionada do petróleo, extraído com o intuito de apresentar características para ser utilizado na pavimentação, normalmente, são constituídos de 90 a 95% de hidrocarbonetos e de 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais – vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio), unidos por ligações covalentes. (BERNUCCI *et al.*,2008; PINTO e PINTO 2015).

Segundo Pinto e Pinto (2015), os revestimentos betuminosos têm como objetivos:

- Suportar as cargas provenientes do tráfego;
- Proteger as camadas subjacentes do pavimento;
- Ter boa condição de rolamento;
- Ter flexibilidade;
- Resistir à ação abrasiva do tráfego;
- Resistir ao intemperismo.

Em comparação às misturas a frio, as misturas a quente são menos sensíveis à ação das cargas, são menos sujeitas a desgastes e por essas características são mais indicadas para locais com alto fluxo de automóveis e variação de cargas referentes a veículos das mais variadas dimensões. (PINTO e PINTO 2015).

4.4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

De acordo com o método de dimensionamento do Eng. Murilo Lopes de Souza (ou método do DNIT), o dimensionamento baseia-se no número N.

O número N resume-se ao número de passagens dos eixos dos veículos sobre determinada via, considerando o tempo de vida útil da mesma. O eixo padrão adotado no Brasil é o eixo simples de rodas duplas que transmite ao pavimento uma força de 8,2 tf (80,41 Kn). A partir do número N o dimensionamento é realizado.

O dimensionamento do revestimento está diretamente ligado com a quantidade de repetições do eixo padrão como pode ser visto na Tabela 1, onde de acordo com o número de repetições do eixo padrão define-se a espessura do revestimento.

Tabela 1 – Determinação da espessura do revestimento.

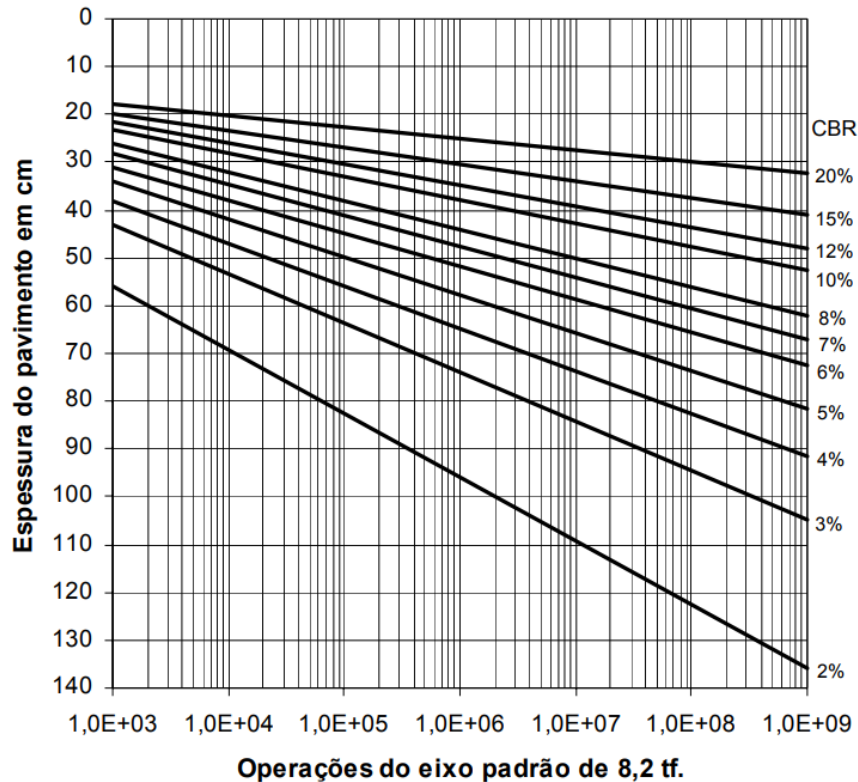
N	Espessura mínima de revestimento betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficiais betuminosos.
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura.
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura.
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura.
$N \geq 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura.

Fonte: SOUZA (1981)

Para as camadas granulares (base, sub-base e subleito), utiliza-se o Índice de Suporte Califórnia (ISC), ou como também é conhecido *California Bearing Ratio* (CBR), para dimensioná-las. Pontos importantes a serem destacados é que o CBR da base deve ser maior ou igual a 80% o Limite de Liquidez menor ou igual a 25% e o Índice de Plasticidade menor ou igual a 6%; o da sub-base, maior ou igual a 20% e a expansão do material utilizado nessa camada deve ser inferior a 1%; se o CBR do subleito for menor que 2%, deve ser empregado outro material no lugar do mesmo e se maior que 20% pode ser utilizado diretamente como sub-base.

Como demonstrado na Figura 5 Infere-se a espessura total do pavimento, a partir da intensidade do tráfego e do respectivo CBR.

Figura 5 - Determinação da espessura total do pavimento de acordo com o número N.

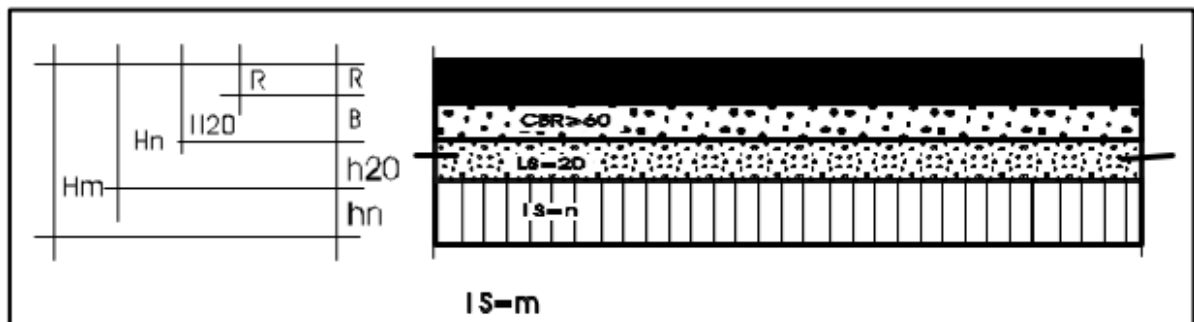


Fonte: SOUZA (1981), adaptada por NETO (2004)

A partir desses dados iniciais é possível determinar a espessura das demais camadas.

A Figura 6 permite fazer a correlação dos símbolos, quais camadas eles representam, além de transmitir uma visão geral das partes integrantes da fórmula de dimensionamento.

Figura 6 - Especificação das camadas componentes do pavimento, a fim de correlacioná-las a fórmula.



Fonte: MARQUES (2012)

- ❖ R: representa a camada referente ao revestimento;
- ❖ B: camada referente a base;
- ❖ h20: representa a sub-base;
- ❖ hn: referente ao subleito;
- ❖ H20: compreende a soma da camada do revestimento mais a base;
- ❖ Hn: símbolo referente à soma do revestimento, mais base, mais a sub-base;
- ❖ Hm: é a espessura total do pavimento, retirada do ábaco.

O último detalhe que é necessário para o dimensionamento é o coeficiente estrutural representado pela letra K, os valores são definidos a partir dos tipos de materiais que serão utilizados. Como demonstra a Tabela 2, o tipo de camada que será construída determinará o coeficiente K.

Tabela 2 - Coeficiente estrutural K referente ao tipo de camada de suporte.

Componentes do pavimento	Coeficiente Estrutural (k)
Base ou revestimento de concreto betuminoso.	2,0
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa.	1,7
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa.	1,4
Base ou revestimento betuminoso por penetração.	1,2
Camadas granulares.	1,0
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias superior a 45 kg/cm ² .	1,7
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias entre 45 Kg/cm ² e 28 Kg/cm ² .	1,4
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias entre 28 Kg/cm ²	1,2
Base de solo-cal	1,2

Reunindo todos estes dados, basta aplicá-los na fórmula para obter as espessuras referente a cada parte integrante da estrutura da via, assim obtendo os números necessários a uma via bem dimensionada, e que se bem executada oferecerá uma ótima qualidade aos usuários.

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad (1)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq H_n \quad (2)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_nK_{Ref} \geq H_m \quad (3)$$

Fonte: SOUZA (1981)

4.5 INFLUÊNCIA DO CLIMA NO PAVIMENTO

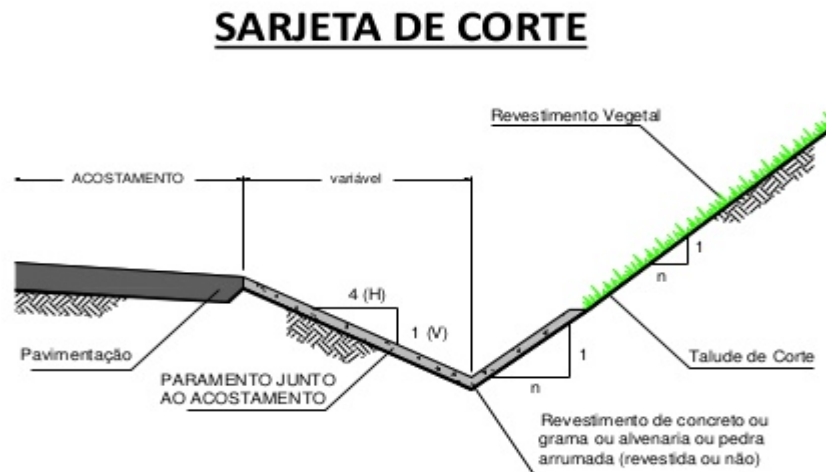
Segundo Bastos (2013), a consideração do intemperismo exercido pelas variações climáticas no desempenho de um pavimento não pode ser desprezada, uma vez que o clima tem grande influência no comportamento mecânico dos materiais integrantes de sua estrutura. As variações climáticas sazonais podem acarretar mudanças que comprometem o desempenho do pavimento, reduzindo sua durabilidade, afetando diretamente na resistência as variações de cargas e até causando graves riscos aos motoristas e pedestres.

De acordo com o *Transportation Research Board* (2008)¹, a variação climática nos tempos atuais é um fator que pode acarretar riscos as vidas dos usuário como também pode influenciar na economia, pois se não considerar a variação de corpos hídricos existentes próximos às rodovias, essas tornam-se inutilizáveis por dias. Nas rodovias com grandes taludes ao redor é necessário considerar os deslizamentos de terra; em regiões com chuvas torrenciais, cabe uma avaliação referente a um investimento ou não em estruturas de drenagem mais robustas. Segundo Fraenkel (1980), o pavimento deve ser tão impermeável quanto possível, para impedir infiltração de água no leito da estrada, dessa forma a faixa de rolamento deve ter forma abaulada de forma que o escoamento superficial seja direcionado para as sarjetas laterais. A Figura 7 representa um eixo de rolamento abaulado, aonde o eixo de rolamento da via está mais elevado e os acostamentos mais inclinados, para que

¹ *Transportation Research Board (Special Report 290, TRB, 2008)*, publicação referente aos impactos das mudanças climáticas nos transportes. Feita pelo conselho nacional de pesquisa dos Estados Unidos da América.

a água possa escorrer facilmente em sentido aos elementos de drenagem, no caso uma sarjeta lateral.

Figura 7 - Drenagem - Sarjeta lateral.



Fonte: BARBOSA (2015)

Segundo Medina e Motta (2015), os mecanismos pelos quais a precipitação atmosférica e a radiação solar podem influenciar no desempenho, podem ser divididos por camadas. Estas camadas podem ser divididas em duas partes:

- ✓ Subleito (Solo natural)
 - Variações do lençol freático afetam diretamente na umidade do solo constituinte do subleito, isso ocorre quando o lençol está a no máximo 1 metro abaixo do solo natural.
 - Em regiões com baixas temperaturas, o congelamento da água presente no solo causa o inchamento das camadas basilares.
- ✓ Estrutura do Pavimento (materiais empregados na construção da via)
 - Quando a água adentra no pavimento, ela ocasiona ações físico-químicas (oxidação, polimerização e etc.), essas ações enrijecem as misturas asfálticas e as tornam mais frágeis.
 - O acúmulo de água ou gelo na superfície asfáltica diminui a resistência à derrapagem gerando grandes riscos aos veículos que se deslocam em altas velocidades.

De acordo com Medina e Motta (2015), a rigidez dos revestimentos asfálticos está ligada à temperatura. Com isso a variação da deformação é condicionada pelas

variações da temperatura do ar ou das condições meteorológicas gerais. Essa temperatura não influencia somente no asfalto, mas nas estruturas do pavimento rígido. A variação de temperatura faz com que o pavimento se dilate e expanda essa variação pode acarretar em fissuras, outro fator é que se as juntas de dilatação não forem construídas as placas de concreto podem vir a rachar.

Há uma temperatura de rolagem, ou seja, uma temperatura em que o concreto asfáltico deverá ser compactado. Esta temperatura deve ser a mais elevada que a mistura asfáltica possa suportar, ela é fixada experimentalmente para cada caso, por exemplo o CAP 50/70 deve ser compactado com temperatura entre 150° e 155 °C. (DNIT 031/2006). Infere-se da norma que a temperatura do revestimento deve ser rigorosamente analisada para cada caso, pois pode gerar grandes comprometimentos a estrutura.

4.6 MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO DO PAVIMENTO

Consiste a conservação dos pavimentos em mantê-los sempre em boas condições de tráfego, de modo que a estrada possa ser usada confortavelmente e com segurança. (BAPTISTA, 1981. p. 231).

A conservação adequada e no tempo correto é essencial na proteção do investimento feito na construção do pavimento. Ainda não existe um método que identifica os problemas que irão acontecer, quando acontecerão e em qual quantidade. A forma para se monitorar o desempenho da rodovia é empírica, por meio de inspeção visual, inspeção essa muito importante para a correção de possíveis problemas, além do mais esta vistoria contínua permite o aprimoramento dos projetos. Porém a conservação exige uma série de operações, cuja a finalidade é manter o leito em boas condições, aumentando sua vida útil. (BAPTISTA, 1981; MIRANDOLA, 2016).

Como explanado no parágrafo anterior a conservação exige uma série de operações, segundo Baptista (1981), as operações abrangem:

- Limpeza da pista de rolamento;
- Desmatamento da faixa de domínio, se essa atrapalha a visibilidade;
- Limpeza e desmatamento do acostamento;
- Inspeção, desobstrução, limpeza e reconstrução de estruturas drenantes;
- Manutenção da sinalização;

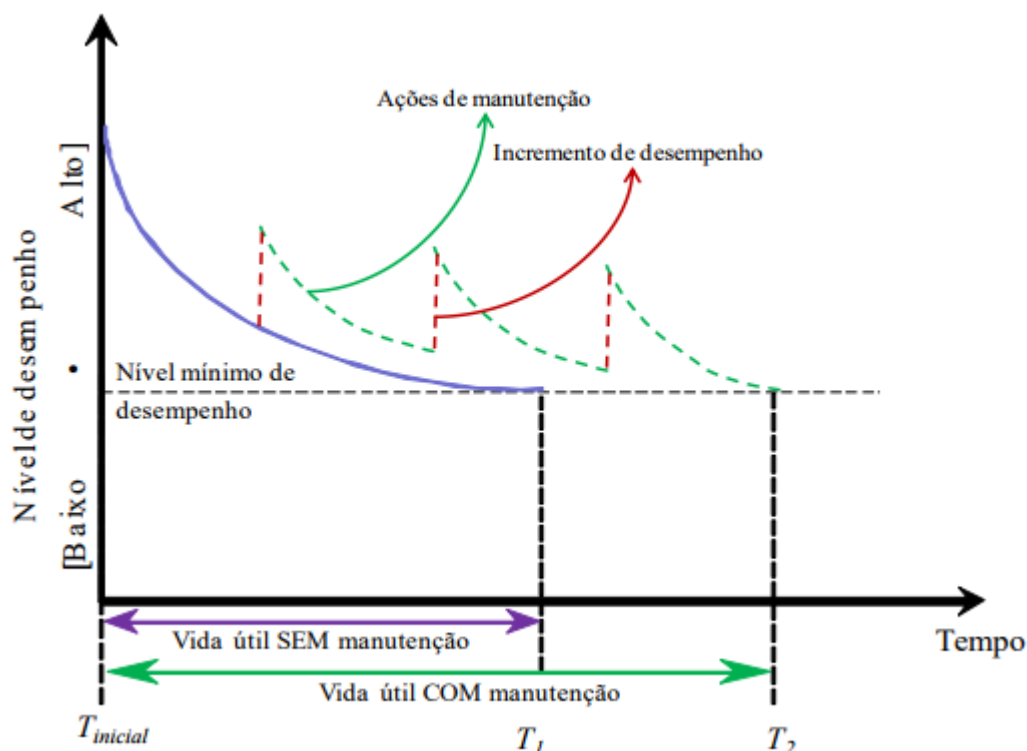
- Execução e manutenção das faixas de sinalização;
- Reparos de pequenos buracos e selagem ou imprimação das trincas e panelas, que apareçam no revestimento asfáltico. Importante ressaltar que devem ser pequenos reparos e não quando esses já se tornaram grandes problemas;
- *Resselação* dos revestimentos betuminosos.

Em conformidade com Baptista (1981), a conservação preventiva é uma das principais operações de conservação, ela deve ser feita rotineiramente, durante todo o ano. Esta conservação feita por pequenas turmas de operários têm por objetivo providenciar os reparos de pequenos defeitos, de modo a prevenir que o defeito se torne mais danoso. As operações de conservação podem ser divididas conforme os tópicos seguintes:

- Capa selante (protege o pavimento da umidade, rejuvenesce e reforça a estrutura);
- Remendo de buracos, que podem ser superficiais ou profundos;
- Selagem ou imprimação de trincas;
- Reparos devido à oxidação ou devido ao uso.

A Figura 8 não se relaciona a pavimentos, porém pode exemplificar de forma clara como a conservação preventiva e a manutenção periódica pode influenciar, fortemente, na vida útil da construção. Deduz-se que com as conservações e manutenções adequadas, a vida útil pode aumentar em torno de 50%.

Figura 8 - Vida útil da estrutura com e sem manutenção.



Fonte: POSSAN e DEMOLINER (2013).

4.7 PATOLOGIAS ENCONTRADAS NAS VIAS URBANAS

A ciência da patologia das construções pode ser entendida como o ramo da engenharia que estuda os sintomas, causas e origens dos vícios construtivos que ocorrem na construção de edificações. (DO CARMO, 2003, citado por ZUCHETTI, 2015).

Segundo Bernucci *et al.* (2008), os defeitos na superfície viária podem aparecer a curto (devido a erro ou a inadequações) ou a médio e longo prazo (devido à utilização do tráfego e efeitos das intempéries), dentre os erros e inadequações destacam-se os erros de projeto, erros ou inadequações na seleção, na dosagem ou na produção de materiais, erros ou inadequações construtivas e erros ou inadequações nas alternativas de conservação e manutenção.

A Tabela 3 exemplifica bem, o tipo de patologia, o nome pelo qual é conhecida e as principais causas geradoras desses problemas.

Tabela 3 - Principais patologias no pavimento e suas causas.

CLASSE	DENOMINAÇÃO USUAL OU TIPO DE DEFEITO	CAUSAS
1 - Composição inadequada do pavimento ou do revestimento. Neste grupo se situam as falhas ou comportamentos insatisfatórios unicamente devidos à qualidade do próprio pavimento.	1.1. - Desagregação (<i>raveling</i>)	1.1.1. - Deficiência do ligante. 1.1.2. - Endurecimento do ligante. 1.1.3. - Ação da água.
	1.2. - Trincas	1.2.1. - Endurecimento dos ligantes. 1.2.2. - Baixa temperatura. 1.1.3. - Deficiência do ligante.
	1.3. - Instabilidade (deformação plástica)	1.3.1. - Excesso de ligante. 1.1.2. - Excesso de água. 1.1.3. - Partículas de agregado muito polidas.
2 - Falta de entrosamento adequado entre as camadas estruturais do pavimento. Este grupo abrange várias manifestações, representando, entretanto, um único tipo de defeito, ou seja, escorregamento por falta de aderência entre a camada do revestimento e as camadas subjacentes (base).	2.1. - Trincas de escorregamento	2.1.1. - Falta de ligação entre as camadas. 2.1.2. - Revestimento com espessura deficiente. 2.1.3. - Tráfego muito intenso.
3 - Falta de resistência da base; sub-base ou do subleito. Neste grupo estão situadas as falhas atribuíveis a deficiências da base, sub-base ou subleito (falta de suporte).	3.1. - Trincas	3.1.1. - Deformação plástica de camada subjacente. 3.1.2. - Fundação.
	3.2. - Sulcos profundos - Ond. Transv.	3.2.1. - Deformação plástica da base. 3.2.2. - Base insuficiente.
	3.3. - Ruptura total	3.3.1 - Má fundação.

- ❖ 1.1 – Desagregação: resultante do rápido desgaste do ligante que envolve os agregados, ficando estes à vista. Conforme os carros passam sobre a via, os agregados são removidos e jogados para longe, assim originando grandes depressões. (MAIA, 2012).
- ❖ 1.2 e 3.1 – Trincas: está abrangida pela denominação macro (Fendilhamento, representada por qualquer descontinuidade na superfície do pavimento); as trincas são fendas existentes no revestimento, com abertura superior à da fissura, por onde a água pode adentrar e percolar pelas camadas inferiores, uma vez que a água atinge as camadas inferiores as compromete e com o esforço dos automóveis, causa a destruição da estrutura. As trincas podem ser divididas em dois grandes grupos – Isolada ou Interligada. (BAPTISTA, 1981; DNIT 005/2003).
- ❖ 1.3 e 3.2 – Deformação plástica/sulcos: identificadas pela formação de depressões longitudinais ao longo das trilhas de rodagem, normalmente são acompanhadas de elevações laterais. Caracterizada por afundamentos, escorregamentos, ondulações e sulcos, que são grandes rastros, causados pela deformação do revestimento ou da base. (GRECO, 2010, citado por QUIRINO, 2013).
- ❖ 2.1 – Trincas de escorregamento: tipo comum de trinca causada por escorregamento das camadas, sendo inútil tentar evitá-las mudando a dosagem da mistura. (BAPTISTA, 1981).
- ❖ 3.3 – Ruptura total: são grandes trincas, por onde se consegue observar as camadas interiores do pavimento. Pode até causar grandes depressões no meio da via. É quando a sub-base, base e revestimento falham, devido a isso deverá ser removida toda a camada danificada para reconstrução. (BAPTISTA, 1981).

Pode-se deduzir que vários fatores externos afetam o desempenho e a vida útil do pavimento. As causas advêm da má execução, mistura desproporcional do traço, mal dimensionado ou agregados inadequados. Esses fatores com os efeitos causados pela distribuição da carga, dos automóveis, por todas as camadas do pavimento podem causar grandes danos estruturais. A grande maioria dos problemas acontecem no revestimento, por que, as maiores cargas são exercidas sobre ele e sobre a base.

De acordo com a Figura 9 infere-se que há uma distribuição das cargas por todo o pavimento. Há uma maior incidência sobre o revestimento e sobre a base, uma intensidade média na sub-base e por fim um leve esforço sobre o subleito.

Figura 9 - Influência das cargas nas camadas do pavimento.



Fonte: MAIA (2012).

5. METODOLOGIA

No intuito de bem descrever os parâmetros físicos dos asfaltos encontrados nas avenidas de Brasília, uma série de ensaios laboratoriais foram feitos junto ao Tribunal de Contas do Distrito Federal (TCDF), por meio do laboratório (InfraLab) da Universidade de Brasília. O tipo de pesquisa utilizado é o descritivo, onde com maneiras práticas é possível descrever os elementos que formam o pavimento, os quais não são possíveis de perceber visualmente. A fim de conseguir descrever a fiel estrutura do pavimento flexível, utilizam-se fontes de pesquisas primárias, fontes essas que são amostras retiradas, *in loco*, e para embasar o estudo utiliza-se fonte secundária por meio de normas técnicas e livros relacionados com pavimentação de rodovias ou vias urbanas.

Como os ensaios disponibilizam dados numéricos, os resultados verificados são quantitativos, representados por meio de tabelas correlacionando resultados que permitem analisar os parâmetros de pesquisa a fim de encontrar resultados concretos.

5.1 PARÂMETROS GERAIS

Quando é feita uma análise descritiva busca-se a caracterização mais próxima da realidade, isso pode ser obtido fazendo uma avaliação das especificações de serviço apresentadas pelas vias.

Na avaliação feita por este estudo, objetivou-se comparar os valores encontrados nos corpos de provas e ter a resposta se estão ou não dentro dessas especificações apresentadas pela norma DNIT 031/2006, que influenciam diretamente na qualidade do pavimento.

5.2 MODELO DE ESTUDO

O modelo analisado foi colhido em três avenidas L2 Norte, L4 Leste e na via da UNB – Asa Norte DF, para descrever mais fielmente como está a qualidade das avenidas, várias amostras foram coletadas em pontos diversos. Para este estudo apenas o revestimento foi considerado, excluindo as camadas de solo (bases e sub-bases). Os modelos de estudo tinham em torno de 5 centímetros de espessura e 10 centímetros de diâmetro, isso antes da limpeza para os ensaios laboratoriais. Ao todo fez-se uma coleta em 40 pontos distribuídos ao longo das três vias.

5.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Na coleta dos materiais deslocou-se uma equipe técnica, a fim de avaliar os pontos que melhor retratariam a realidade do pavimento, após os estudos as amostras foram coletadas, armazenadas e levadas ao laboratório para a realização dos devidos ensaios.

Essas amostras foram extraídas, por meio da máquina extratora, retratada na Figura 10, que perfura o asfalto, retirando o testemunho de revestimento para que possa ser armazenada e estudado.

Figura 10 - Extração de corpos de provas asfálticos.



Fonte: TCDF (2015).

5.4 ENSAIOS LABORATORIAIS (Amostra Natural)

Inicialmente, os corpos de prova um por vez são colocados no molde e postos na prensa, que deve está configurada à uma velocidade de 5 cm por minuto. A carga aplicada para romper o corpo de prova é anotada e por meio da carga e da deformação são obtidos os valores de estabilidade e fluência.

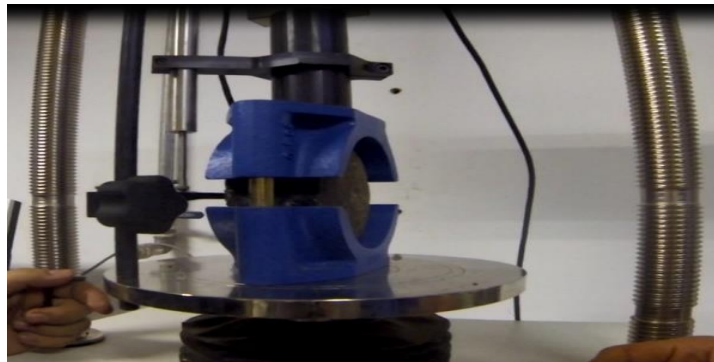
A estabilidade é dada pela força aplicada pela prensa sobre o corpo de prova necessária para rompê-lo, essa força deve ser transformada para N (Kgf/m^2),

considerando um fator de correção, que é função da espessura do corpo de prova, obtido pela fórmula: $= (927,23 * h^{(-1,64)})$.

Esse fator deve ser multiplicado pela força exercida para romper o objeto de estudo.

A fluência obtém-se na leitura direta do medidor da prensa, ela deve ser obtida pela média das fluências das amostras, expressas em 0,25 mm, a Figura 11 enuncia o momento do acondicionamento do corpo de prova no molde para que a prensa possa aplicar a força necessária para romper o mesmo.

Figura 11 - Prensa para a realização dos ensaios de estabilidade e fluência.



Fonte: TCDF (2015).

O ensaio de tração por compressão, realizado com base na norma DNER-ME 138/94, necessita de um paquímetro, utilizado para medir em 4 posições diferentes a espessura dos corpos de prova e da mesma forma 4 posições diferente para o diâmetro assim como ilustrado na Figura 12. A espessura e o diâmetro devem ser considerados pela média dos 4 valores aferidos.

Figura 12 - Medição das espessuras.

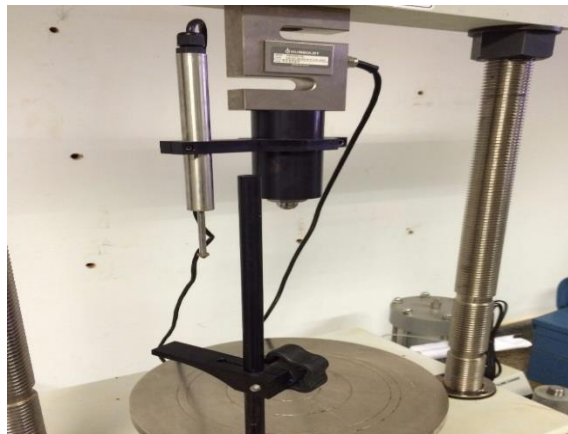


Fonte: TCDF (2015).

As amostras, em temperatura ambiente (25°C), são colocadas no molde e postas na prensa, uma por vez, a carga aplicada pela prensa deve ter uma velocidade de deformação de 0,8 +- 0,1 mm/s, até o rompimento. A Figura 13 ilustra a prensa utilizada para a realização do ensaio de tração, a qual também foi utilizada no ensaio de estabilidade. A equação abaixo proporciona o valor da tração resistido pelo referido corpo de prova:

$$\sigma = \frac{2F}{\pi DH}$$

Figura 13 - Prensa para a realização do ensaio de resistência à tração.



Fonte: TCDF (2015).

As amostras foram limpas, ou seja, retirou-se as camadas de solo advindas da base e que ficam aderidas ao revestimento assim como demonstra a Figura 14. Se essas não forem retiradas podem atrapalhar na correta avaliação das características exclusivas do revestimento.

Figura 14 - Retirada das camadas granulares em contato com o revestimento.



Fonte: TCDF (2015).

Posteriormente aferem-se as medidas de espessura e diâmetro das amostras com o uso do paquímetro, explicitado na Figura 15. Dessa maneira as mesmas estão prontas para serem ensaiadas.

Figura 15 - Medição das espessuras.



Fonte: TCDF (2015).

Todas as 40 amostras passaram pelo Rotarex para retirada e determinação do valor de betume, segundo a DNER-ME 053/94. Este ensaio é feito primeiramente com a pesagem dos objetos (prato, filtro, etc.), importante destacar que a amostra de revestimento deve ser colocada na estufa à temperatura entre 105° e 110°C para que possa ser destorroada e assim melhorar a sua trabalhabilidade. Após destorroada e posta no prato é pesada novamente o conjunto.

O CAP (cimento asfáltico de petróleo) é retirado dos agregados por meio do produto químico Percloroetileno, geralmente faz-se seis lavagens para a retirada do betume, processo de ligar o maquinário e adicionar o Percloroetileno e aguardar por cerca de 2 minutos visando a centrifugação do betume juntamente com o produto químico. Após a centrifugação pesa-se o filtro novamente para o desconto referente aos resíduos nele aderidos, a amostra é levada a estufa e depois de evaporado todo o Percloroetileno é pesada novamente e assim pode-se definir a quantidade de betume presente, por meio da fórmula:

$$P = \left(\frac{\text{Pantes da extração} - \text{Papós extração}}{\text{Pantes da extração}} \right) * 100$$

As Figuras 16 (a) a 16 (f) demonstram o passo-a-passo de como realiza-se extração do betume utilizando o *Rotarex*.

Figura 16 - Extração de betume por meio do Rotarex.



Figura 16 (a) - Extração de betume por meio do Rotarex.



Figura 16 (b) - Extração de betume por meio do Rotarex.



Figura 16 (c) - Extração de betume por meio do Rotarex.



Figura 16 (d) - Extração de betume por meio do Rotarex.



Fonte: TCDF (2015)

Utilizando somente os agregados realiza-se a análise granulométrica. Primeiramente é possível obter a distribuição da faixa granulométrica dos grãos e segundo separar os agregados graúdos dos miúdos (DNER-ME 083/98).

A Figura 17 expõe as diversas peneiras que podem ser utilizadas no ensaio granulométrico, no ensaio adotado por este trabalho utilizou-se as peneiras 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°80 e N°200, essas peneiras são organizadas nessa ordem e postas no agitador, figura da direita, por 5 minutos, com o intuito de distribuir os grãos nas diversas peneiras.

Figura 17 - Ensaio de Granulometria.



Fonte: TCDF (2015).

Com os agregados graúdos, retidos na peneira N^o10 (2,0mm), realiza-se o ensaio de determinação da massa específica aparente, por meio da balança hidrostática, onde a amostra é pesada ao ar e após é pesada submersa e a partir da seguinte fórmula:

$$Da = \frac{Par}{Par - Psub}$$

Obtém-se a massa específica aparente do agregado graúdo. (DNER-ME 081/98). A Figura 18 mostra o momento da pesagem ao ar, o passo seguinte baseia-se em aferir o peso submerso. Na Figura 18 é retratado o ensaio de densidade aparente do corpo de prova para a obtenção do grau de compactação. Para realizar o ensaio da densidade aparente do agregado graúdo basta acondicioná-lo em um recipiente, o processo de pesagem é da mesma forma.

Figura 18 - Ensaio de densidade por meio da balança hidrostática.



Fonte: TCDF (2015).

Com o material passante na peneira 10 (2,00mm) faz-se o ensaio de densidade aparente do agregado miúdo, segundo a norma DNER-ME 084/95, o ensaio consiste em colocar sobre uma bandeja os finos, reparte-se a amostra em duas partes iguais, uma das partes é pesada e após colocada dentro do balão volumétrico. A Figura 19 mostra o momento da pesagem do picnômetro mais amostra, demonstrado no quadro resumo, para aplicação na fórmula, pelo P1.

Figura 19 - Densidade aparente dos agregados miúdos.



Fonte: JUNIOR (2013).

Dentro do mesmo é adicionado água, à temperatura de 25°C, até a marca do gargalo do balão, o balão é posto na bomba de vácuo, para que todo o ar possa ser retirado e depois pesada novamente para aferir o peso submerso. Com a seguinte equação pode-se deduzir a massa específica aparente do agregado miúdo:

Sigla	Relação
P1	Picnômetro + Amostra
P2	Picnômetro
P3	Picnômetro + Água
P4	Picnômetro + Amostra + Água

$$D_{ap} = \frac{(P1 - P2)}{((P3 - P2) - (P4 - P1))}$$

Para se chegar aos parâmetros de análises faz-se necessária obter a densidade do ligante utilizado para montar o concreto asfáltico. O ensaio tem por base a norma DNER-ME 193/96. Este ensaio consiste em aquecer a uma temperatura superior a 111 °C para asfaltos, ressaltando que não deve ser aquecido por mais de 30 minutos, o asfalto deve ser vertido em um picnômetro e deixado para o resfriamento a temperatura ambiente por tempo não superior a 40 minutos. Previamente é pesado com a sua tampa e também deve ser pesado cheio de água destilada, após isso é pesado o conjunto picnômetro mais asfalto e por fim pesa-se picnômetro, mais amostra, mais água.

Ressaltando que a tampa deve ser colocada no picnômetro de forma que expulse todo o ar, preso dentro do recipiente, enquanto houverem bolhas de ar no interior da tampa, o processo de retirada e colocação da tampa deve ser repetido até que não se tenha a presença do ar.

A densidade do betume obtém-se pela equação:

Sigla	Relação
P1	Picnômetro + Amostra
P2	Picnômetro
P3	Picnômetro + Água
P4	Picnômetro + Amostra + Água

$$D_{ap} = \frac{(P1 - P2)}{((P3 - P2) - (P4 - P1))}$$

A estabilidade e a fluência são obtidas utilizando norma DNER-ME 043/95, no qual utiliza-se no mínimo 3 amostras e aquece-as em banho maria à temperatura de 60°C, por um período entre 30 a 40 minutos, assim como exposto pela Figura 20.

Figura 20 - Amostras mantidas a 60°C no "banho Maria".



Fonte: TCDF (2015).

5.5 ENSAIOS LABORATORIAIS (*Remoldagem*)

Com base em um traço, calculado por meio da granulometria dos agregados, faz-se a *remoldagem* das amostras, no intuito de ensaiar aquele traço pré-estabelecido e avaliar se o seu grau de compactação respeita os padrões normativos.

O processo de *remoldagem* (ensaio Marshall) baseado na norma DNER-ME 043/95, consiste em obter a quantidade de CAP e a quantidade de agregado que a amostra deve ter para formar o traço pré-definido, a partir do ensaio de análise granulométrica. O processo é feito por meio de máquina que faz a mistura e a esquentar automaticamente, ou o aquecimento pode ser feito manualmente, onde o

CAP é aquecido a temperatura em torno de 140°C e os agregados em torno de 110°C, a Figura 21 demonstra o momento do aquecimento manual do ligante asfáltico e dos agregados.

Figura 21 - Ensaio Marshall.



Fonte: TCDF (2015).

Essa amostra, após aquecida, é colocada dentro do molde cilíndrico, perdendo o mínimo de temperatura possível, e aplica-se o número de 75 golpes na face superior, depois vira o lado do cilindro e aplica-se mais 75 golpes na face inferior. Mantém-se a mesma em repouso enquanto as outras são ensaiadas. Por meio da Figura 22 visualiza-se o momento do acondicionamento da mistura asfáltica, dentro do molde cilíndrico, na prensa para a aplicação dos 75 golpes.

Figura 22 - Soquete, ensaio Marshall.



Fonte: TCDF (2015).

A remontagem dos corpos de prova estabeleceu-se para a determinação da densidade aparente do corpo de prova em laboratório, essa densidade necessária para a determinação do grau de compactação, obtido pela razão entre a densidade obtida no campo e a obtida em laboratório.

Logo os métodos utilizados para a caracterização do pavimento foram as extrações *in loco* e os ensaios laboratoriais, que permitiram uma avaliação do revestimento do pavimento flexível.

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

“O concreto asfáltico pode ser empregado como revestimento, camada de ligação (binder), base, regularização ou reforço do pavimento.” (DNIT 031/2006, p.3)

Como é possível inferir do exposto pela norma do DNIT o concreto asfáltico pode ser utilizado para diversos fins, entretanto o objeto de estudo deste trabalho limita-se ao concreto utilizado como revestimento de vias urbanas, construídas utilizando o CAP 50/70.

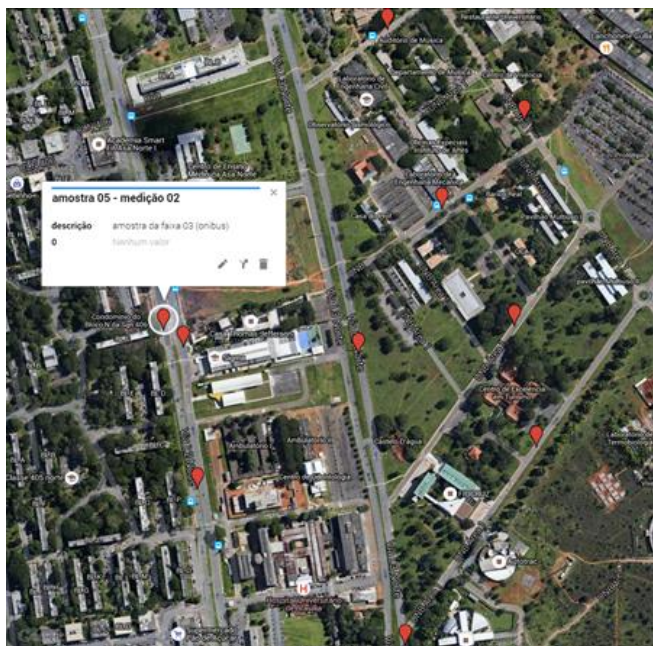
Para a obtenção de vias cada vez mais confortáveis e seguras faz-se necessário um bom controle tecnológico das características físicas do revestimento aplicado, dessa maneira evita-se riscos aos usuários e também má utilização de recursos públicos, pois a grande maioria das vias urbanas são de responsabilidade do estado, conseqüentemente, utilizando recursos públicos para a implementação dessas. Segundo Souza (2014), o controle tecnológico se estabelece na utilização de métodos e procedimentos ou ainda ferramentas e de dispositivos ou equipamentos, de maneira a viabilizar a execução e/ou otimizar os resultados.

Do parágrafo anterior obtém-se o conceito de que uma obra bem controlada oferece diversos benefícios, devido a isso realizou-se um controle dos aspectos físicos apresentados pelo revestimento utilizado na Asa Norte/Brasília DF.

A norma supracitada apresenta valores mínimos e máximos, ou seja, uma faixa de segurança, aonde os valores utilizados na construção do revestimento devem estar enquadrados. Foram feitos diversos ensaios laboratoriais e com os valores obtidos nos ensaios, uma comparação com a faixa de segurança da norma, importante salientar que no processo de análise algumas amostras foram danificadas impedindo que todas essas sejam submetidas aos ensaios.

Os pontos de coletas foram distribuídos ao longo das vias, como o intuito da coleta baseava-se em realizar uma inspeção do pavimento construído, os pontos de coletas não obedeceram a distâncias especificadas por norma. Porém fez-se uma distribuição dos locais de extrações para que os resultados tivessem representatividade e pudessem descrever a via por completo. A Figura 23 apresenta a distribuição de alguns pontos de coleta representados pelos pontos vermelhos no mapa.

Figura 23 - Pontos de extração.



Fonte: TCDF (2015).

As análises realizadas e os seus respectivos resultados serão descritos nos tópicos estruturados a seguir.

6.1 ESPESSURA

A espessura a ser empregada na via depende diretamente da intensidade do tráfego nessa, como explicitado no item 4.5 deste trabalho. Uma realização seguindo os padrões pré-definidos assegura uma maior proteção das demais estruturas do pavimento, evita a ruptura por esforços repetitivos no revestimento além de haver uma boa distribuição das cargas. Segundo a norma (DNIT 031/2006) a partir da espessura de projeto apresentado pela construtora pode haver uma variação de $\pm 5\%$ do valor pré-estabelecido.

A Tabela 4 apresenta a espessura média das amostras, a espessura de projeto estabelecida pela construtora, a variação referente ao projeto que a norma permite e por fim a variância do encontrado em relação ao projeto.

Baseando-se apenas na média de todas as espessuras aferidas, este trecho referente aos 500 metros colhidos nas três avenidas estaria dentro dos padrões permitidos, pois a média é equivalente a 5,11 cm estando assim dentro da faixa permitida, 4,75 cm a 5,25 cm, contudo somente a média não é capaz de descrever fielmente a estrutura, porque, há uma grande variância dos valores e em conjunto uma

porcentagem de 77% dos objetos estudados estão fora do valor permitido, assim como exposto pela Figura 23, apenas 10 do total de 44 estão dentro dos valores normativos. Demonstrando assim que muitos pontos da via estão com espessura fora dos padrões permitidos pela norma, podendo diminuir o desempenho do pavimento.

Figura 24 - Relação das amostras dentro e fora dos padrões normativos.

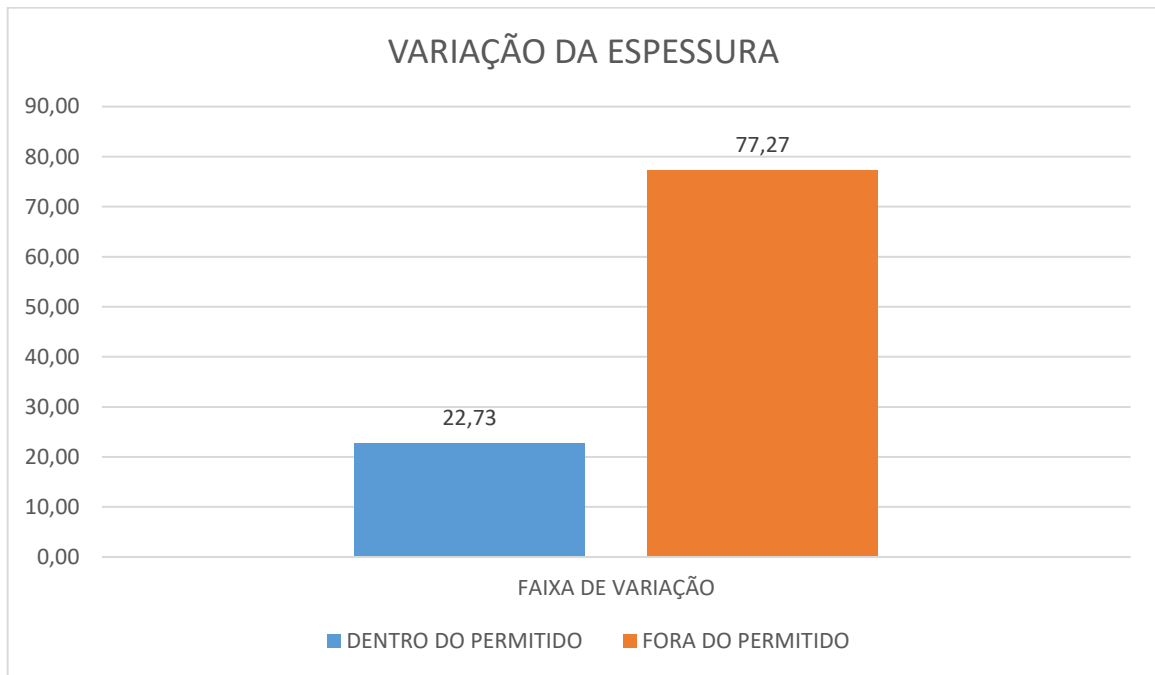


Tabela 4 - Comparação das espessuras dos corpos de prova com a norma.

Nº DA AMOSTRA	ESPESSURA MÉDIA(cm)	ESPESSURA DE PROJETO(cm)	VARIAÇÃO PERMITIDA POR NORMA (± 5%)	DESVIO MÉDIO (%)
1	3,72	5,00	4,75 - 5,25	64%
2	5,06	5,00	4,75 - 5,25	3%
3	4,01	5,00	4,75 - 5,25	50%
4	2,84	5,00	4,75 - 5,25	108%
5	5,26	5,00	4,75 - 5,25	13%
6	4,42	5,00	4,75 - 5,25	29%
7	5,21	5,00	4,75 - 5,25	10%
8	4,19	5,00	4,75 - 5,25	40%
9	4,58	5,00	4,75 - 5,25	21%
9.1	4,76	5,00	4,75 - 5,25	12%
10	5,20	5,00	4,75 - 5,25	10%
11	6,32	5,00	4,75 - 5,25	66%
13	12,67	5,00	4,75 - 5,25	383%
14	5,48	5,00	4,75 - 5,25	24%
14.1	4,66	5,00	4,75 - 5,25	17%
15	5,35	5,00	4,75 - 5,25	18%
16	5,24	5,00	4,75 - 5,25	12%
17	6,70	5,00	4,75 - 5,25	85%
18	4,41	5,00	4,75 - 5,25	30%
19	4,48	5,00	4,75 - 5,25	26%
20	4,79	5,00	4,75 - 5,25	10%
23	4,82	5,00	4,75 - 5,25	9%
23.1	5,06	5,00	4,75 - 5,25	3%
24	5,02	5,00	4,75 - 5,25	1%
25	7,68	5,00	4,75 - 5,25	134%
26	6,59	5,00	4,75 - 5,25	80%
27	7,47	5,00	4,75 - 5,25	123%
28	4,32	5,00	4,75 - 5,25	34%
29	2,67	5,00	4,75 - 5,25	117%
30	2,33	5,00	4,75 - 5,25	134%
31	2,48	5,00	4,75 - 5,25	126%
31.1	3,39	5,00	4,75 - 5,25	81%
32	4,56	5,00	4,75 - 5,25	22%
32.1	4,17	5,00	4,75 - 5,25	42%
33	6,52	5,00	4,75 - 5,25	76%
34	5,97	5,00	4,75 - 5,25	49%
35	4,17	5,00	4,75 - 5,25	42%
36	4,09	5,00	4,75 - 5,25	46%
36.1	4,49	5,00	4,75 - 5,25	26%
37	4,95	5,00	4,75 - 5,25	3%
38	6,89	5,00	4,75 - 5,25	94%
39	6,40	5,00	4,75 - 5,25	70%
40	5,50	5,00	4,75 - 5,25	25%
41	5,85	5,00	4,75 - 5,25	43%

6.2 GRANULOMETRIA

A análise granulométrica permite descrever a variação do diâmetro dos grãos empregados, como agregados, na composição do concreto asfáltico, devendo essa, para estar em boas condições, apresentar uma boa distribuição granulométrica, ou seja, deve conter grãos com variadas dimensões, pois quanto maior a distribuição dos grãos menor o número de vazios do revestimento.

Uma boa granulometria aumenta a impermeabilidade do revestimento e quanto mais impermeável o revestimento melhor ele cumpre as suas funções e menos água infiltra no pavimento, evitando a fragilização das camadas de suporte pela ação da água; a granulometria adequada evita exsudação do ligante, pois se tiver muitos espaços vazios o ligante dirigirá-se à superfície do revestimento e os agregados maiores adensam-se nas camadas inferiores, ocasionando um acúmulo de ligante na parte superior e com os esforços sobre o revestimento o ligante escorregará para as laterais das trilhas de roda.

A Tabela 5 apresenta as faixas granulométricas e as suas respectivas variações permitidas por norma, sendo a faixa C empregada para camadas de rolamento com a espessura do revestimento entre 4,5 cm e 9,0 cm.

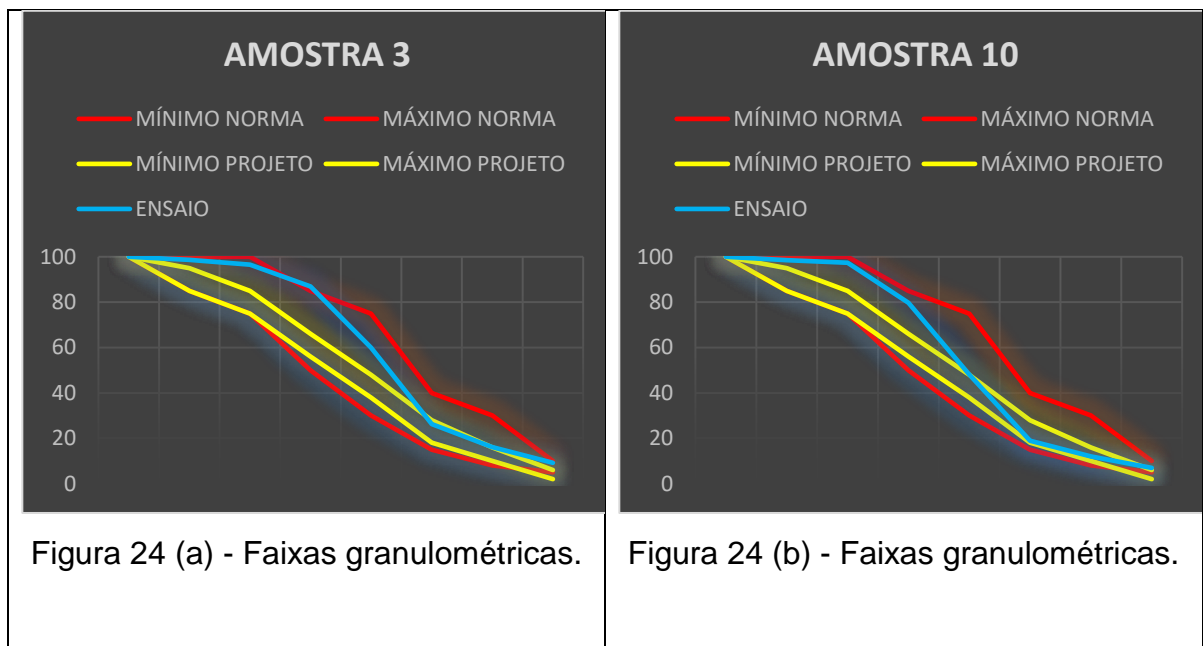
Tabela 5 - Faixas granulométricas estabelecidas por norma.

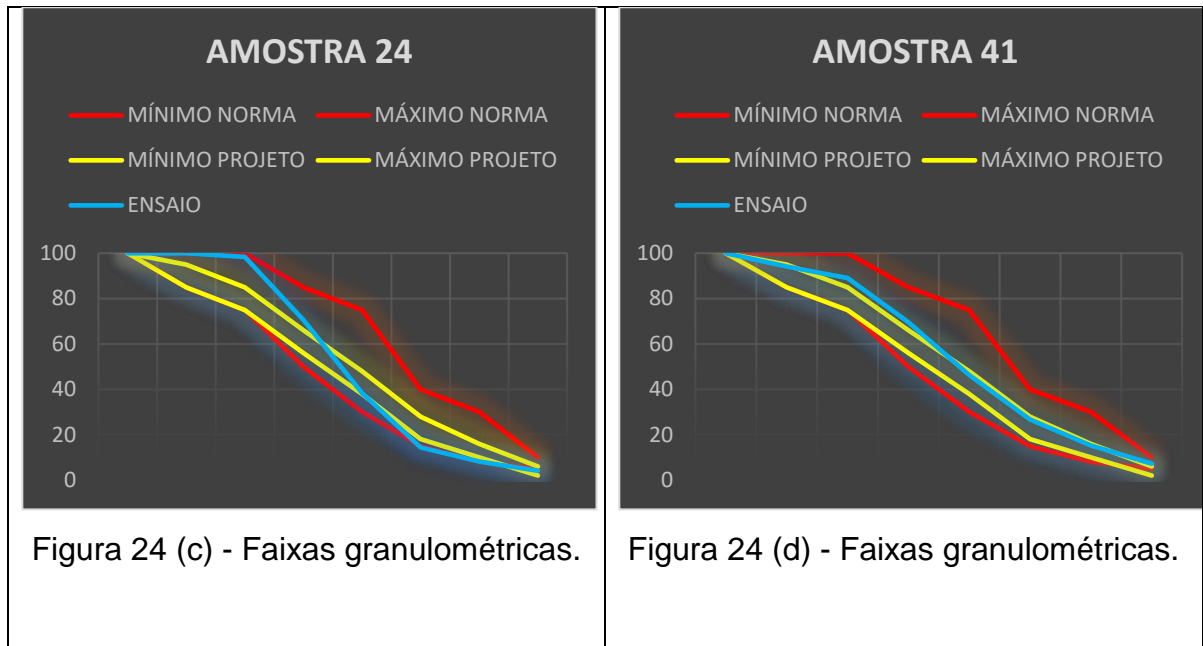
Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 ½"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
¾"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
½"	12,7	-	-	80 - 100	± 7%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	± 7%
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	± 2%
Asfalto solúvel no CS2(+) (%)		4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	± 0,3%

A faixa utilizada neste estudo foi a faixa “C” empregada para camadas de rolamento, pois de acordo com a norma a faixa a ser utilizada deve ser adotada considerando que o diâmetro máximo do agregado deve ser inferior a 2/3 da espessura da camada.

Em quase toda sua totalidade as amostras apresentaram a variação do material passante por peneira dentro dos padrões estipulados por norma, somente três extrapolaram os limites, porém para garantir um pavimento de qualidade é necessário que haja uma uniformidade dos valores, o qual não deve variar largamente do valor padrão advindo do projeto. Nas Figuras 24 (a) a 24 (d) são representadas as faixas de variação advindas do projeto, a faixa limite permitida por norma e a curva granulométrica obtida submetendo a amostra ao ensaio granulométrico.

Figura 25 (a) a 24 (d) - Faixas granulométricas.





Infere-se que os ensaios não demonstraram uma uniformidade granulométrica, em sua maioria as linhas que descrevem os ensaios extrapolam os valores definidos previamente para o projeto, além do mais na amostra 3 e na amostra 24 esses valores chegam a transpassar os valores da norma. Logo o pavimento não terá um bom preenchimento dos espaços, por não haver uma boa distribuição das dimensões dos grãos, acarretando em um número elevado de vazios.

A Tabela 6 expõe os valores das amostras passantes em cada peneira e comparados a esses a variação granulométrica considerada aceitável pelo normativo do DNIT.

Tabela 6 - Faixas granulométricas.

AMOSTRA 1				AMOSTRA 2			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	97,65	93 - 107
12,7	1/2"	91,28	73 - 107	12,7	1/2"	90,22	73 - 107
9,5	3/8"	86,46	63 - 97	9,5	3/8"	81,19	63 - 97
4,8	No 4	71,19	39 - 77	4,8	No 4	54,95	39 - 77
2,0	No 10	51,49	17 - 55	2,0	No 10	32,74	17 - 55
0,4	No 40	28,89	03 - 31	0,4	No 40	16,45	03 - 31
0,2	No 80	15,3	01 - 19	0,2	No 80	10,63	01 - 19
0,1	No 200	7,76	00 - 12	0,1	No 200	6,17	00 - 12
AMOSTRA 3				AMOSTRA 4			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	98,58	73 - 107	12,7	1/2"	94,48	73 - 107
9,5	3/8"	96,56	63 - 97	9,5	3/8"	89,09	63 - 97
4,8	No 4	86,87	39 - 77	4,8	No 4	69,52	39 - 77
2,0	No 10	59,94	17 - 55	2,0	No 10	41,76	17 - 55
0,4	No 40	26,22	03 - 31	0,4	No 40	16,45	03 - 31
0,2	No 80	16,09	01 - 19	0,2	No 80	9,87	01 - 19
0,1	No 200	9,18	00 - 12	0,1	No 200	5,89	00 - 12
AMOSTRA 5				AMOSTRA 6			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	98,7	73 - 107	12,7	1/2"	95,71	73 - 107
9,5	3/8"	93,61	63 - 97	9,5	3/8"	91,48	63 - 97
4,8	No 4	69,17	39 - 77	4,8	No 4	66,58	39 - 77
2,0	No 10	42,51	17 - 55	2,0	No 10	39,46	17 - 55
0,4	No 40	16,58	03 - 31	0,4	No 40	16,65	03 - 31
0,2	No 80	9,91	01 - 19	0,2	No 80	9,99	01 - 19
0,1	No 200	5,93	00 - 12	0,1	No 200	5,71	00 - 12
AMOSTRA 7				AMOSTRA 8			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	92,38	73 - 107	12,7	1/2"	95,67	73 - 107
9,5	3/8"	85,94	63 - 97	9,5	3/8"	91,75	63 - 97
4,8	No 4	62,38	39 - 77	4,8	No 4	70,85	39 - 77
2,0	No 10	37,52	17 - 55	2,0	No 10	44,09	17 - 55
0,4	No 40	15,92	03 - 31	0,4	No 40	17,69	03 - 31
0,2	No 80	10,65	01 - 19	0,2	No 80	11,3	01 - 19
0,1	No 200	6,61	00 - 12	0,1	No 200	6,7	00 - 12
AMOSTRA 9.1				AMOSTRA 10			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	96,09	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	87,34	73 - 107	12,7	1/2"	98,53	73 - 107
9,5	3/8"	80,35	63 - 97	9,5	3/8"	97,41	63 - 97
4,8	No 4	59,99	39 - 77	4,8	No 4	79,74	39 - 77
2,0	No 10	37,24	17 - 55	2,0	No 10	48,08	17 - 55
0,4	No 40	16,15	03 - 31	0,4	No 40	18,9	03 - 31
0,2	No 80	10,33	01 - 19	0,2	No 80	11,98	01 - 19
0,1	No 200	5,89	00 - 12	0,1	No 200	6,94	00 - 12

AMOSTRA 13				AMOSTRA 14			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	98,27	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	96,96	73 - 107	12,7	1/2"	96,04	73 - 107
9,5	3/8"	92,22	63 - 97	9,5	3/8"	86,97	63 - 97
4,8	No 4	68,24	39 - 77	4,8	No 4	65,08	39 - 77
2,0	No 10	42,77	17 - 55	2,0	No 10	42,19	17 - 55
0,4	No 40	20,53	03 - 31	0,4	No 40	20,87	03 - 31
0,2	No 80	12,89	01 - 19	0,2	No 80	13,21	01 - 19
0,1	No 200	7,98	00 - 12	0,1	No 200	7,96	00 - 12
AMOSTRA 14.1				AMOSTRA 15			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	95,71	73 - 107	12,7	1/2"	90,24	73 - 107
9,5	3/8"	85,89	63 - 97	9,5	3/8"	82,55	63 - 97
4,8	No 4	62,74	39 - 77	4,8	No 4	65,81	39 - 77
2,0	No 10	39,95	17 - 55	2,0	No 10	41,32	17 - 55
0,4	No 40	19,71	03 - 31	0,4	No 40	22,56	03 - 31
0,2	No 80	12,76	01 - 19	0,2	No 80	14,83	01 - 19
0,1	No 200	6,22	00 - 12	0,1	No 200	8,81	00 - 12
AMOSTRA 16				AMOSTRA 18			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	94,16	73 - 107	12,7	1/2"	95,68	73 - 107
9,5	3/8"	87,86	63 - 97	9,5	3/8"	88,89	63 - 97
4,8	No 4	68,48	39 - 77	4,8	No 4	71,84	39 - 77
2,0	No 10	44,67	17 - 55	2,0	No 10	50,2	17 - 55
0,4	No 40	21,12	03 - 31	0,4	No 40	24,43	03 - 31
0,2	No 80	15,12	01 - 19	0,2	No 80	17,36	01 - 19
0,1	No 200	9,91	00 - 12	0,1	No 200	11,04	00 - 12
AMOSTRA 19				AMOSTRA 20			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	89,44	73 - 107	12,7	1/2"	86,33	73 - 107
9,5	3/8"	78,97	63 - 97	9,5	3/8"	75,02	63 - 97
4,8	No 4	60,64	39 - 77	4,8	No 4	54,76	39 - 77
2,0	No 10	42,79	17 - 55	2,0	No 10	38,61	17 - 55
0,4	No 40	20,74	03 - 31	0,4	No 40	21,35	03 - 31
0,2	No 80	12,56	01 - 19	0,2	No 80	14,02	01 - 19
0,1	No 200	5,13	00 - 12	0,1	No 200	6,23	00 - 12
AMOSTRA 23				AMOSTRA 23.1			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	93,21	73 - 107	12,7	1/2"	93,28	73 - 107
9,5	3/8"	89,66	63 - 97	9,5	3/8"	87,04	63 - 97
4,8	No 4	67,18	39 - 77	4,8	No 4	66,44	39 - 77
2,0	No 10	34,44	17 - 55	2,0	No 10	45,19	17 - 55
0,4	No 40	12,9	03 - 31	0,4	No 40	21,16	03 - 31
0,2	No 80	7,79	01 - 19	0,2	No 80	14,5	01 - 19
0,1	No 200	4,29	00 - 12	0,1	No 200	8,39	00 - 12

AMOSTRA 24				AMOSTRA 28			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	100	73 - 107	12,7	1/2"	98,28	73 - 107
9,5	3/8"	98,4	63 - 97	9,5	3/8"	93,85	63 - 97
4,8	No 4	70,6	39 - 77	4,8	No 4	69,86	39 - 77
2,0	No 10	38,4	17 - 55	2,0	No 10	42,59	17 - 55
0,4	No 40	14,41	03 - 31	0,4	No 40	15,37	03 - 31
0,2	No 80	8,12	01 - 19	0,2	No 80	9,2	01 - 19
0,1	No 200	4,11	00 - 12	0,1	No 200	5,03	00 - 12
AMOSTRA 29				AMOSTRA 30			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	94,75	73 - 107	12,7	1/2"	97,7	73 - 107
9,5	3/8"	90,63	63 - 97	9,5	3/8"	93,31	63 - 97
4,8	No 4	67,37	39 - 77	4,8	No 4	69,08	39 - 77
2,0	No 10	39,74	17 - 55	2,0	No 10	42,69	17 - 55
0,4	No 40	18,21	03 - 31	0,4	No 40	20,98	03 - 31
0,2	No 80	11,8	01 - 19	0,2	No 80	13,15	01 - 19
0,1	No 200	6,87	00 - 12	0,1	No 200	7,03	00 - 12
AMOSTRA 31				AMOSTRA 31.1			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	93,55	73 - 107	12,7	1/2"	95,56	73 - 107
9,5	3/8"	88,58	63 - 97	9,5	3/8"	87,39	63 - 97
4,8	No 4	61,39	39 - 77	4,8	No 4	68,14	39 - 77
2,0	No 10	37,4	17 - 55	2,0	No 10	43,4	17 - 55
0,4	No 40	18,75	03 - 31	0,4	No 40	21,91	03 - 31
0,2	No 80	11,59	01 - 19	0,2	No 80	13,99	01 - 19
0,1	No 200	6,64	00 - 12	0,1	No 200	8,65	00 - 12
AMOSTRA 32				AMOSTRA 32.1			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	95,51	73 - 107	12,7	1/2"	92,34	73 - 107
9,5	3/8"	94,97	63 - 97	9,5	3/8"	91,92	63 - 97
4,8	No 4	71,25	39 - 77	4,8	No 4	64,33	39 - 77
2,0	No 10	47,09	17 - 55	2,0	No 10	37,44	17 - 55
0,4	No 40	19,42	03 - 31	0,4	No 40	14,91	03 - 31
0,2	No 80	11,06	01 - 19	0,2	No 80	8,92	01 - 19
0,1	No 200	6,18	00 - 12	0,1	No 200	4,91	00 - 12
AMOSTRA 34				AMOSTRA 35			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	98,83	73 - 107	12,7	1/2"	90,37	73 - 107
9,5	3/8"	92,16	63 - 97	9,5	3/8"	83,18	63 - 97
4,8	No 4	76,26	39 - 77	4,8	No 4	64,83	39 - 77
2,0	No 10	48,45	17 - 55	2,0	No 10	40,05	17 - 55
0,4	No 40	22,76	03 - 31	0,4	No 40	17,47	03 - 31
0,2	No 80	13,83	01 - 19	0,2	No 80	11,13	01 - 19
0,1	No 200	8,31	00 - 12	0,1	No 200	6,44	00 - 12

AMOSTRA 36				AMOSTRA 36.1			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	94,71	73 - 107	12,7	1/2"	95,92	73 - 107
9,5	3/8"	89,83	63 - 97	9,5	3/8"	89,17	63 - 97
4,8	No 4	66,85	39 - 77	4,8	No 4	61,96	39 - 77
2,0	No 10	38,21	17 - 55	2,0	No 10	42,45	17 - 55
0,4	No 40	16,58	03 - 31	0,4	No 40	25,22	03 - 31
0,2	No 80	10,08	01 - 19	0,2	No 80	16,55	01 - 19
0,1	No 200	5,79	00 - 12	0,1	No 200	7,11	00 - 12
AMOSTRA 37				AMOSTRA 39			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	94,21	73 - 107	12,7	1/2"	97,53	73 - 107
9,5	3/8"	85,78	63 - 97	9,5	3/8"	92,27	63 - 97
4,8	No 4	65,05	39 - 77	4,8	No 4	72,38	39 - 77
2,0	No 10	45,19	17 - 55	2,0	No 10	46,58	17 - 55
0,4	No 40	24,14	03 - 31	0,4	No 40	24,32	03 - 31
0,2	No 80	15,55	01 - 19	0,2	No 80	13,62	01 - 19
0,1	No 200	6,87	00 - 12	0,1	No 200	7,06	00 - 12
AMOSTRA 40				AMOSTRA 41			
mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)	mm	PENEIRA	PASSANTE(%)	VARIAÇÃO DENORMA(%)
19,1	3/4"	100	93 - 107	19,1	3/4"	100	93 - 107
12,7	1/2"	95,15	73 - 107	12,7	1/2"	94,16	73 - 107
9,5	3/8"	82,94	63 - 97	9,5	3/8"	89,06	63 - 97
4,8	No 4	56,06	39 - 77	4,8	No 4	69,62	39 - 77
2,0	No 10	36,35	17 - 55	2,0	No 10	46,36	17 - 55
0,4	No 40	19,87	03 - 31	0,4	No 40	26,64	03 - 31
0,2	No 80	11,39	01 - 19	0,2	No 80	15,22	01 - 19
0,1	No 200	4,83	00 - 12	0,1	No 200	7,24	00 - 12

6.3 PORCENTAGEM DE VAZIOS

A porcentagem de vazios relaciona-se com a granulometria e como a distribuição granulométrica não está bem distribuída, conseqüentemente, a porcentagem de vazios estará alta.

Por meio da diferença entre densidade máxima teórica (DMT) e a densidade real aparente do corpo de prova, dividida pela densidade máxima teórica é possível obter a porcentagem de vazios presente nos corpos de prova.

Segundo a NBR 12891/93, a DMT é obtida por meio da seguinte fórmula:

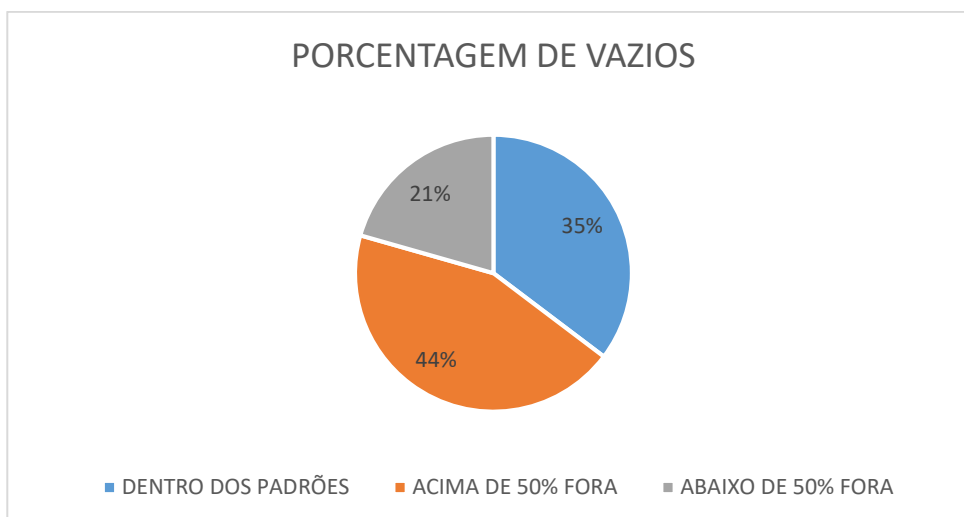
$$DMT = \frac{1}{\left(\% \frac{\text{cap}}{\text{dcap}}\right) + \left(\% \frac{\text{gra}}{\text{dgra}}\right) + \left(\% \frac{\text{miu}}{\text{dmiu}}\right)}$$

A densidade real do agregado graúdo obtém-se pelo ensaio de densidade real aparente com o uso de balança hidrostática e a densidade do agregado miúdo por

meio do ensaio de densidade real do agregado miúdo, e o betume com a utilização do ensaio de densidade real do ligante, os ensaios dessas estão descritos na metodologia.

Do total de 34, 22 estão acima dos limites permitidos, ou seja, 65% do total analisado apresenta porcentagem de vazios elevado e a consequência disso é um trecho de via comprometido. Um fato para se atentar é que 44% estão mais de 50% acima do permitido, fato esse que tem muitas chances de ocasionar fissuras e panelas no revestimento, como demonstrado na Figura 25, apenas 35% respeitam os valores normativos e 21% estão até 50% fora da norma.

Figura 26 - Relação de amostras dentro, acima de 50% e abaixo de 50% fora da norma.



A Tabela 7 apresenta as representatividades dos agregados e do betume em relação ao peso total, as densidades de cada parte integrante e a DMT. Com a correlação desses a porcentagem de vazios e a comparação com a porcentagem permitida.

Tabela 7 - Índice de vazios encontrado nas amostras e comparados à norma.

AMOSTRA 1									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
643,2	2,714	67%	2,62	27%	1,0268	5%	2,340	2,467	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			5%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 2									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
811,1	2,752	53%	2,73	43%	1,0268	4%	2,262	2,569	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			12%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 3									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
719,8	2,738	82%	2,732	12%	1,0268	6%	2,387	2,491	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			4%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 4									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
493	2,809	67%	2,835	29%	1,0268	4%	2,350	2,626	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			10%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 5									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
848,4	2,795	66%	2,839	30%	1,0268	5%	2,316	2,602	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			11%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 6									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
730,2	2,774	63%	2,797	32%	1,0268	5%	2,387	2,553	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			6%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 7									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
899,8	2,766	59%	2,713	36%	1,0268	5%	2,421	2,515	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			4%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 8									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
640,9	2,781	67%	2,807	28%	1,0268	5%	2,419	2,579	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			6%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 9									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
859,8	2,783	60%	2,815	35%	1,0268	5%	2,469	2,567	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			4%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 9.1									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
844,1	2,794	57%	2,798	38%	1,0268	6%	2,459	2,549	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			4%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 13									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
712	2,741	65%	2,744	30%	1,0268	4%	2,412	2,551	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			5%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 14									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
703,8	2,72	61%	2,713	33%	1,0268	6%	2,372	2,491	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			5%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		

AMOSTRA 14.1									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
802,5	2,737	59%	2,743	35%	1,0268	6%	2,304	2,506	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			8%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 15									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
944,8	2,714	63%	2,673	33%	1,0268	5%	2,330	2,499	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			7%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 18									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
850,41	2,75	68%	2,724	26%	1,0268	6%	2,169	2,493	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			13%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 19									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
833,57	2,692	58%	2,724	38%	1,0268	5%	2,389	2,514	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			5%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 20									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
839,87	2,746	52%	2,726	43%	1,0268	5%	2,364	2,510	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			6%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 23									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
868,4	2,807	64%	2,808	31%	1,0268	5%	2,361	2,592	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			9%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 23.1									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
737	2,729	63%	2,757	32%	1,0268	5%	2,362	2,533	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			7%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 24									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
824,9	2,807	68%	2,804	28%	1,0268	4%	2,238	2,635	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			15%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 28									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
724,7	2,799	67%	2,833	29%	1,0268	4%	2,259	2,632	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			14%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 30									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
513,7	2,737	65%	2,734	29%	1,0268	6%	2,331	2,486	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			6%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 31									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
467,4	2,74	59%	2,762	37%	1,0268	4%	2,306	2,556	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			10%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 31.1									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
614,5	2,726	64%	2,746	31%	1,0268	5%	2,325	2,515	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			8%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		

AMOSTRA 32									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
720,2	2,818	68%	2,717	27%	1,0268	5%	2,308	2,576	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			10%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 32.1									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
731,6	2,815	62%	2,752	34%	1,0268	4%	2,346	2,604	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			10%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 34									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
1073,6	2,725	74%	2,74	23%	1,0268	3%	2,365	2,582	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			8%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 35									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
631,2	2,791	62%	2,785	34%	1,0268	4%	2,433	2,600	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			6%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 36									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
727,6	2,785	64%	2,728	32%	1,0268	4%	2,374	2,577	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			8%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 36.1									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
845,5	2,739	58%	2,769	36%	1,0268	6%	2,383	2,506	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			5%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 37									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
935,7	2,716	62%	2,713	33%	1,0268	5%	2,321	2,518	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			8%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 39									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
1155,6	2,727	69%	2,708	26%	1,0268	5%	2,398	2,523	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			5%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 40									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
970,4	2,779	53%	2,716	42%	1,0268	5%	2,412	2,519	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			4%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		
AMOSTRA 41									
Ptotal(g)	Dmiúdo(g/cm³)	Pmiúdo(g)	Dgraúdo(g/cm³)	Pgraúdo(g)	Dcap(g/cm³)	Pcap(g)	Daparente(g/cm³)	DMT(g/cm³)	
1021,8	2,728	66%	2,694	29%	1,0268	5%	2,382	2,510	
PERCENTUAL DE VAZIOS =			5%	PERMITIDO POR NORMA =			3% - 5%		

6.4 RELAÇÃO BETUME/VAZIOS

Segundo Bernucci *et al.* (2008), a relação betume/vazios é dada pela razão:

$$Rbv = \frac{\text{Asfalto Efetivo}}{\text{VAM}}$$

onde o Asfalto Efetivo corresponde ao produto da seguinte fórmula: $Ae = \text{Teor de ligante} * \text{Daparente} / \text{Dligante}$, e os vazios do agregado mineral (VAM) corresponde à: $VAM = \text{Asfalto Efetivo} + \text{Porcentagem de Vazios}$.

O cálculo desse volume tem influência da ocupação, pelo betume, dos espaços vazios deixados pelo agregado na mistura asfáltica. O revestimento ao qual o estudo se refere é a camada de rolamento, portanto os valores da relação betume/vazios deve estar em um intervalo compreendido pelos números 75 e 82, como demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Relação betume vazios - DNIT 031/2006.

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)
Relação betume/vazios	DNER-ME 043	75 - 82	65 - 72

Fonte: DNIT 031/2006

Por meio da Tabela 9 deduz-se que o trecho inteiro pode estar seriamente danificado, pois apenas 5 das 33 amostras ensaiadas estão de acordo com a norma, chega a um número absurdo de 85%, da parte da via submetida ao ensaio, comprometida.

Os valores não podem estar nem abaixo e nem acima do permitido, pois se apresenta um número abaixo do proposto por norma, faltará ligante e o agregado se desagregará facilmente com a passagem do tráfego, por outro lado se tiver acima, terá um acúmulo de ligante gerando escorregamento para a lateral da pista.

Tabela 9 - Relação betume/vazios.

AMOSTRA	Teor de CAP(%)	Daparente(g/cm ³)	Dcap(g/cm ³)	Porcentagem de Vazios	AE(%)	VAM (%)	RBV(%)	NORMA
1	5%	2,34	1,0268	5%	11%	16%	70%	75% - 82%
2	4%	2,262	1,0268	12%	9%	21%	42%	75% - 82%
3	6%	2,387	1,0268	4%	14%	18%	78%	75% - 82%
4	4%	2,35	1,0268	10%	9%	19%	48%	75% - 82%
5	5%	2,316	1,0268	11%	11%	22%	51%	75% - 82%
6	5%	2,387	1,0268	6%	12%	18%	66%	75% - 82%
7	5%	2,421	1,0268	4%	12%	16%	75%	75% - 82%
8	5%	2,419	1,0268	6%	12%	18%	66%	75% - 82%
9	5%	2,469	1,0268	4%	12%	16%	75%	75% - 82%
9.1	6%	2,459	1,0268	4%	14%	18%	78%	75% - 82%
13	4%	2,412	1,0268	5%	9%	14%	65%	75% - 82%
14	6%	2,372	1,0268	5%	14%	19%	73%	75% - 82%
14.1	6%	2,304	1,0268	8%	13%	21%	63%	75% - 82%
15	5%	2,33	1,0268	7%	11%	18%	62%	75% - 82%
18	6%	2,169	1,0268	13%	13%	26%	49%	75% - 82%
19	5%	2,389	1,0268	5%	12%	17%	70%	75% - 82%
20	5%	2,364	1,0268	6%	12%	18%	66%	75% - 82%
23	5%	2,361	1,0268	9%	11%	20%	56%	75% - 82%
23.1	5%	2,362	1,0268	7%	12%	19%	62%	75% - 82%
24	4%	2,238	1,0268	15%	9%	24%	37%	75% - 82%
28	4%	2,259	1,0268	14%	9%	23%	39%	75% - 82%
30	6%	2,331	1,0268	6%	14%	20%	69%	75% - 82%
31	4%	2,306	1,0268	10%	9%	19%	47%	75% - 82%
31.1	5%	2,325	1,0268	8%	11%	19%	59%	75% - 82%
32	5%	2,308	1,0268	10%	11%	21%	53%	75% - 82%
32.1	4%	2,346	1,0268	10%	9%	19%	48%	75% - 82%
34	3%	2,365	1,0268	8%	7%	15%	46%	75% - 82%
35	4%	2,433	1,0268	6%	9%	15%	61%	75% - 82%
36	4%	2,374	1,0268	8%	9%	17%	54%	75% - 82%
36.1	6%	2,383	1,0268	5%	14%	19%	74%	75% - 82%
37	5%	2,321	1,0268	8%	11%	19%	59%	75% - 82%
39	5%	2,398	1,0268	5%	12%	17%	70%	75% - 82%
40	5%	2,412	1,0268	4%	12%	16%	75%	75% - 82%
41	5%	2,382	1,0268	5%	12%	17%	70%	75% - 82%

No projeto das vias, de acordo com análise granulométrica, a faixa de teor de ligante considerada como aceitável pelo projeto estar entre 5,6% e 6,2%, podendo considerar como um valor ideal a média dos valores (5,9%). A norma ESP 07 da Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (Novacap) estabelece que o teor de CAP pode variar entre $\pm 0,3\%$ do valor estabelecido no projeto.

Conforme enunciado pela Tabela 10, um valor baixo de aproximadamente 12% respeita os valores estabelecidos, estando os valores encontrados abaixo do esperado, podendo causar heterogeneidades no revestimento, este que é um dos grandes causadores dos desgastes.

Tabela 10 - Teor de ligante.

AMOSTRA	Teor de CAP(%)	Faixa permitida por norma(%)
1	5,5%	5,6% - 6,2%
2	4,0%	5,6% - 6,2%
3	5,9%	5,6% - 6,2%
4	4,2%	5,6% - 6,2%
5	4,6%	5,6% - 6,2%
6	5,3%	5,6% - 6,2%
7	5,5%	5,6% - 6,2%
8	4,7%	5,6% - 6,2%
9	5,1%	5,6% - 6,2%
9.1	5,6%	5,6% - 6,2%
13	5,5%	5,6% - 6,2%
14	5,5%	5,6% - 6,2%
14.1	5,6%	5,6% - 6,2%
15	4,9%	5,6% - 6,2%
18	6,0%	5,6% - 6,2%
19	4,6%	5,6% - 6,2%
20	5,4%	5,6% - 6,2%
23	4,8%	5,6% - 6,2%
23.1	4,9%	5,6% - 6,2%
24	4,0%	5,6% - 6,2%
28	4,0%	5,6% - 6,2%
30	6,0%	5,6% - 6,2%
31	4,5%	5,6% - 6,2%
31.1	5,1%	5,6% - 6,2%
32	4,8%	5,6% - 6,2%
32.1	4,2%	5,6% - 6,2%
34	3,0%	5,6% - 6,2%
35	4,2%	5,6% - 6,2%
36	4,3%	5,6% - 6,2%
36.1	5,8%	5,6% - 6,2%
37	4,8%	5,6% - 6,2%
39	4,9%	5,6% - 6,2%
40	4,8%	5,6% - 6,2%
41	5,5%	5,6% - 6,2%

6.5 GRAU DE COMPACTAÇÃO

Segundo Santos (2008), o controle da compactação do pavimento, se dar por meio de dois níveis:

- Fase de Execução – o controle incide sobre a granulometria do material, número de passagens que o rolo compactador deve passar, espessura da camada e os equipamentos utilizados;

- Pós compactação – controle feito sobre os resultados obtidos no campo e o resultado obtido no laboratório.

O grau de compactação acontece na fase pós compactação, aonde é obtido pela razão da densidade aparente da massa em campo pela densidade aparente obtida no laboratório, utilizando o mesmo traço.

A norma utilizada para fazer o controle tecnológico, DNIT 031/2006, estabelece que o grau de compactação (Gc) deve ser maior que 97% e menor que 101%.

Tanto a média quanto 80% dos corpos de provas analisados estão mal compactados, assim como apresentado na Tabela 10, que correlaciona a densidade aparente *in situ* e a densidade obtida em laboratório gerando o grau de compactação do trecho estudado.

Evidencia-se que o revestimento poderia ser melhor compactado, ou com uma energia de compactação maior ou com um maior número de passadas do rolo compactador.

Tabela 11 - Grau de compactação médio dos corpos de prova.

AMOSTRA	Daparente em campo (g/cm ³)	Daparente em laboratório(g/cm ³)	Gc(%)
2	2,262	2,44	93%
3	2,387	2,42	99%
7	2,421	2,51	96%
9	2,469	2,53	98%
14.1	2,304	2,46	94%
15	2,33	2,47	94%
18	2,169	2,42	90%
20	2,364	2,46	96%
23	2,361	2,46	96%
29	2,332	2,43	96%
30	2,331	2,43	96%
		Gc Médio =	95%

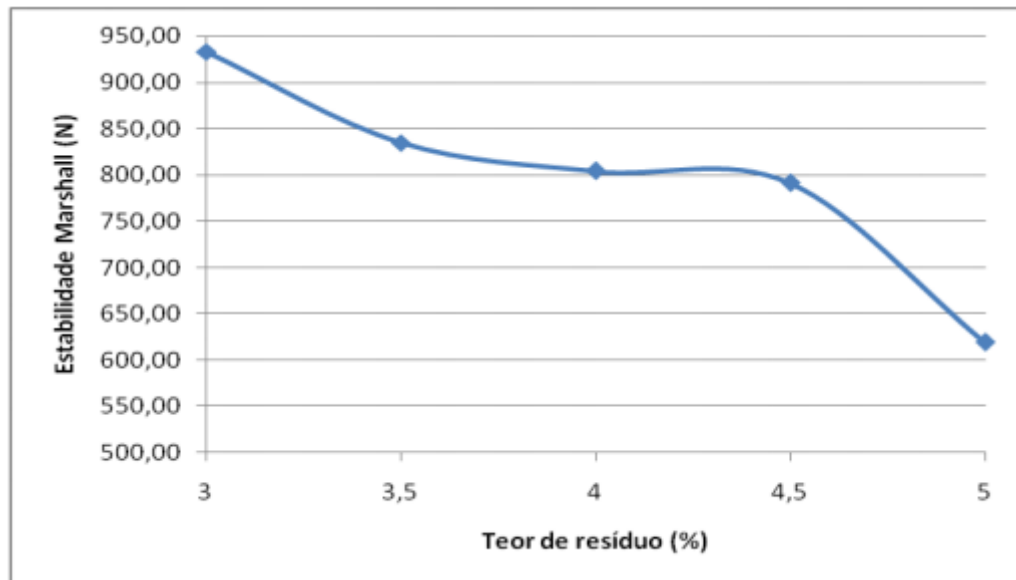
6.6 ESTABILIDADE

Segundo CONTECC² (2015), a estabilidade varia de acordo com a maior ou menor quantidade de finos presente na mistura, considerando que quanto maior a quantidade de finos mais o corpo de prova perde estabilidade, além do mais, a

² Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia realizado na 72ª semana oficial da Engenharia e da Agronomia, em Fortaleza CE.

estabilidade decresce proporcionalmente ao aumento do teor de ligante como evidenciado na Figura 26.

Figura 27 - Relação Estabilidade x Teor de resíduos.



Fonte: CONTECC (2015).

Por norma o valor da estabilidade deve ser superior a 500N, no critério de estabilidade todas as amostras, submetidas a este ensaio demonstraram valores muito superiores aos permitidos por norma, cumprindo os requisitos para ser bem qualificada no critério de estabilidade. Isso é ilustrado pela Tabela 11, onde compara-se os valores obtidos na prensa com a norma DNIT 031/2006.

Tabela 12 - Estabilidade das amostras comparadas à norma.

AMOSTRA EXTRAÍDA <i>IN LOCO</i>		
AMOSTRA	ESTABILIDADE (N)	NORMA 031/2006
3	8.911	500
5	5.453	500
7	9.349	500
9	11.686	500
9.1	9.305	500
11	7.418	500
13	1.110	500
15	8.701	500
19	13.387	500
23	7.792	500
23.1	7.399	500
29	9.726	500
31	9.647	500
31.1	10.280	500
35	7.639	500
37	9.363	500
39	11.390	500
41	9.754	500

6.7 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Este ensaio tem como objetivo maior a determinação dos valores de coesão total para uma variação de umidade, pois está correlacionado com a aderência dos grãos com a argamassa. É um ensaio simples de fazer, portanto bem utilizado para determinar a resistência de corpos de prova. (VALENCIA *et al.* 2005; FREITAS 2012).

Pode-se concluir da Tabela 12 que as amostras apresentam uma boa aderência entre os grãos dos agregados e a mistura asfáltica. Uma boa coesão da estrutura evita que as partes integrantes do pavimento se desagreguem facilmente e com a desagregação gerem buracos e/ou rupturas na via.

Tabela 13 - Resistência à tração na compressão diametral.

AMOSTRA IN LOCO						
AMOSTRA	ESPESSURA (mm)	DIÂMETRO (mm)	LEITURA NA PRENSA (KN)	RESISTÊNCIA (Mpa)	MÍNIMO NORMA (Mpa)	
2	50,63	96,33	8,04	1,049	0,65	
6	40,32	99,20	7,72	1,229	0,65	
8	35,48	99,24	6,05	1,094	0,65	
10	51,98	96,71	10,27	1,301	0,65	
14	54,82	100,08	9,42	1,093	0,65	
14.1	46,25	99,72	7,95	1,097	0,65	
16	52,43	97,66	13,39	1,665	0,65	
18	44,09	99,63	7,96	1,154	0,65	
20	47,94	99,70	10,52	1,401	0,65	
24	49,52	99,82	8,74	1,126	0,65	
26	68,15	100,11	12,75	1,190	0,65	
28	41,72	99,98	5,45	0,832	0,65	
30	28,54	100,01	6,59	1,470	0,65	
32	41,56	99,76	7,77	1,193	0,65	
32.1	41,32	99,55	8,05	1,246	0,65	
34	59,91	99,65	12,15	1,296	0,65	
36	43,87	100,39	10,54	1,524	0,65	
36.1	45,92	99,88	12,36	1,716	0,65	
38	66,98	100,36	21,59	2,045	0,65	
40	51,32	99,97	13,21	1,639	0,65	

Como parâmetro, sete especificações foram utilizadas para a determinação das especificações de serviço – essa especificação se resume a valores numéricos, que se forem seguidos no momento da execução do pavimento, este terá grandes chances de não apresentar falhas estruturais, proporcionará conforto aos usuários e possivelmente cumprirá o tempo de vida útil para o qual foi dimensionado - as quais o pavimento flexível dever apresentar para ser dado como ideal ao uso.

Como resultado dos valores a quem do esperado, patologias ocorreram. A Tabela 13 contabiliza a quantidade de patologias encontradas nas vias L2 Norte, L4 leste e na via da UNB, ao longo dos 500 metros totais estudados.

Tabela 14 - Patologias encontradas nas pistas.

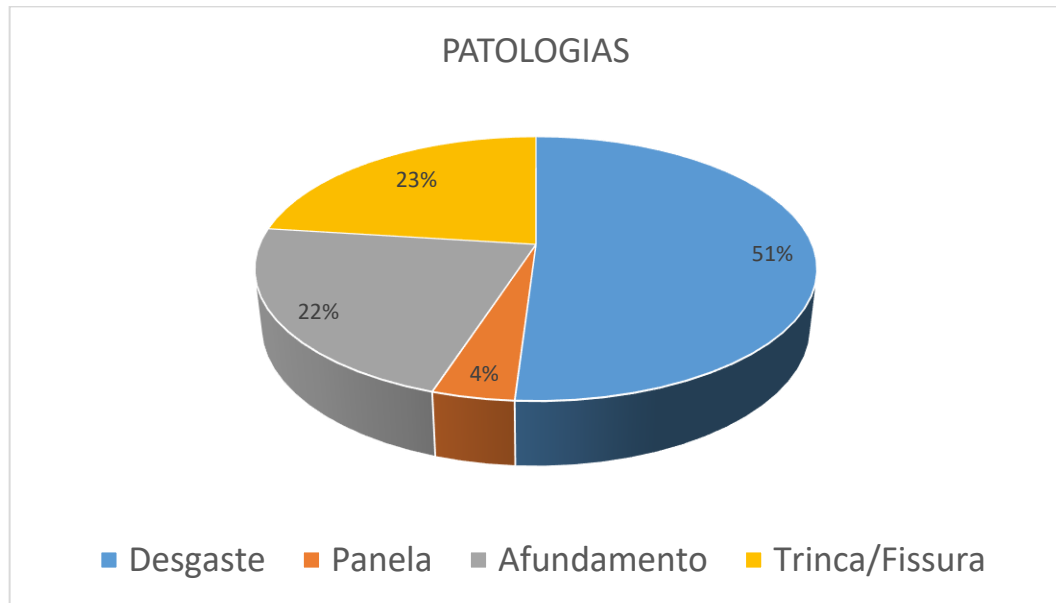
PATOLOGIA	QUANTIDADE	PERCENTUAL
Ondulação/Corrugação	0	0%
Escorregamento	0	0%
Exsudação	0	0%
Desgaste/Massa Heterogênea	56	51%
Panelas	4	4%
Afundamento	24	22%
Trinca/Fissuras	25	23%
Total	109	

As patologias decorrem diretamente dos resultados ruins das características físicas encontradas nos diversos pontos do pavimento estudados.

Desgaste/massa heterogênea, afundamento e trincas/fissuras podem ser resultantes de uma relação betume/vazio inferior ao permitido na norma, isso causa uma heterogeneidade na via e acaba desgastando o pavimento nas trilhas de roda, porque com a passagem dos veículos os agregados são expulsos da mistura e são lançados ao longo da via; as trincas/fissuras provavelmente advindas do alto percentual de vazios presente nas amostras.

O fluxo de carros sobre o pavimento faz com que haja uma exsudação e um acúmulo de ligante na superfície, gerando trincas por escorregamento; o afundamento possivelmente advindo do excesso de ligante na proporção betume/agregado ou excesso de água nos poros deixados pelos espaços vazios presentes na mistura. A Figura 27 mostra as relações proporcionais das patologias encontradas em campo, a fim de transmitir uma ideia de quais desses problemas são mais representativos.

Figura 28 - Comparação das porcentagens patológicas.



8. CONCLUSÃO

Por meio deste estudo foi possível avaliar que os problemas nas vias aos quais as pessoas se deparam diariamente podem ser resolvidos de maneira prática, pois, como demonstrado no trabalho há vários normativos que canalizam todo o processo de construção do pavimento, desde o dimensionamento, passando pela montagem da mistura até como deve ser executado. Portanto basta uma conscientização de fazer as tarefas da maneira correta e com zelo.

As análises permitiram inferir que os principais fatores das patologias que ocorrem no pavimento são decorrentes de uma possível montagem errada do traço padrão e/ou provavelmente de uma execução ruim.

A partir dos valores apresentados fica evidente que todo o trecho, de 500 metros de extensão, estudado deveria ser reconsiderado, porém não é isso que normalmente acontece no Brasil e como consequência disso as vias que normalmente deveriam durar no mínimo uma década não chegam a dois anos sem apresentar problemas. Para se ter uma noção das 44 amostras ensaiadas apenas uma delas estaria apta, ou seja, 2,3% das amostras apresentam valores satisfatórios para todos os testes realizados. Os itens relatados a seguir concatenam a correlação dos valores encontrados com as patologias evidenciadas nas vias.

- ❖ **Espessura:** a espessura define-se a partir do número N, para as vias estudadas neste trabalho o dimensionamento foi baseado em um fluxo compreendido entre 1×10^6 e 5×10^6 , devendo ser empregado para esse caso um revestimento betuminoso de 5,0 cm, a norma permite uma variação de espessura de $\pm 5\%$ do valor pré-dimensionado.

Após a coleta, um total de 44 amostras passaram por uma medição de espessura. Um número elevado de 77% do todo, ou seja, 34 amostras medidas estavam com espessuras inferiores ou superiores ao valor permitido.

- ❖ **Granulometria:** segundo Cooper (2015), a granulometria é a distribuição das partículas constituintes do solo, em classes de tamanho, é uma das características que mais determina a estabilidade do solo estudado.

A especificação de serviço para a distribuição granulométrica baseia-se em 3 faixas, “A”, “B” e “C”, escolhidas de acordo com a espessura do revestimento e de qual será a função estrutural do revestimento. Neste estudo utilizou-se a faixa “C” para camadas de rolamento com espessuras entre 4,5 e 9,0 cm. A faixa adotada estabelece uma porcentagem do agregado que deve passar por cada peneira do ensaio, apresentando uma tolerância de $\pm 7\%$ da peneira 3/8” para cima, $\pm 5\%$ para as peneiras entre a nº 4 e a nº40, $\pm 3\%$ para a nº 80 e $\pm 2\%$ para a nº 200.

Seguindo esses limites os testemunhos foram submetidas ao ensaio de análise granulométrica e demonstraram uma má distribuição dos grãos estando 19 dos 36 estudados (53%) fora da faixa de distribuição estabelecida no projeto e entre esses 19, dois fora dos padrões admitidos por norma.

- ❖ **Porcentagem de vazios:** a porcentagem de vazios presente na mistura demonstra a alta quantidade de espaços vazios compreendidos entre os agregados e o ligante, quando há uma elevada porcentagem provavelmente esses espaços vazios serão preenchidos por água e essa enfraquecerá a estrutura.

O fato a se atentar neste item é que muitas amostras estão fora dos padrões, porém o mais preocupante é que 44% dos corpos de provas analisados estão por volta de 50% acima do valor permitido. Apenas 35% estão dentro do permitido. Isso enuncia que as vias possivelmente estão em grande parte comprometidas.

- ❖ **Relação betume/vazios:** tem relação com os espaços deixados pelos agregados e ocupados pelo ligante asfáltico. A proporção ligante e agregado deve ser bem balanceada não devendo ter muito asfalto e nem pouco a ponto da mistura se tornar heterogênea.

O estabelecido para esse critério é que o trecho deve apresentar uma variação entre 75% e 82% para camadas de rolamento. Mas como evidente nos demais itens, esses valores não foram respeitados.

O número de valores dentro do permitido resumem-se a apenas 5 de um total de 33, ou seja, 88% das amostras coletadas apresentam

uma desproporção na relação de betume com o agregado. Está desproporção pode estar ligada a heterogeneidade ou a quantidade excessiva de asfalto para pouco agregado.

- ❖ **Grau de compactação:** define-se como a razão entre a densidade obtida em campo e a densidade da obtida em laboratório. Essa relação permiti saber o quão compactado a amostra está.

A média dos graus de compactação é de 95%, este abaixo do permitido, pois o grau de compactação especificado na norma deve ser superior a 97% e inferior a 101%.

- ❖ **Estabilidade:** segundo Bernucci *et al.* (2008), a estabilidade é a carga máxima em Newton, que a amostra resiste antes da ruptura, a quebra ou o deslocamento dos agregados causando a diminuição da tensão que deve ser exercida pela prensa Marshall para romper o corpo de prova.

Isso permite inferir que as amostras coletadas resistem as tensões mínimas de 500 N exigidas e com isso os agregados não serão quebrados facilmente pelos esforços advindos dos automóveis.

- ❖ **Resistência à tração na compressão diametral:** os objetos de análise apresentaram valores satisfatórios, ou seja, apresentaram uma resistência aos esforços superior a 0,65 Mpa, obedecendo as especificações de serviço estabelecidos na norma do DNIT.

Pode-se concluir então que existe uma norma, DNIT 031/2006, que estabelece as principais especificações de serviço, as quais a mistura asfáltica deve respeitar. Logo se os valores dimensionados no projeto forem seguidos e se esses estiverem corretos existiriam muitas vias urbanas em bons estados de conservação proporcionando conforto, segurança, agilidade e principalmente reduzindo drasticamente a quantidade de dinheiro utilizado na recuperação precoce das estradas.

9. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Quais as mudanças que podem ser feitas na composição da massa asfáltica ou na execução para evitar as principais patologias.
- Qual a influência das especificações de serviço na durabilidade do pavimento.
- Quantificação da economia gerada no investimento na pré-execução e na execução, ao invés de investir em reparos.
- Realização do dimensionamento utilizando o método de dimensionamento AASHTO ao invés do método USACE (método do DNIT).

10. REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall : 12891/93. [S.l.: s.n.], 1993. 1 - 12 p.

BAPTISTA, Cyro Nogueira. Pavimentação : Tomo III revestimentos-pavimentos rígidos-conservação dos pavimentos. [S.l.]: Globo, 1981. 1 - 276 p. v. 3.

BARBOSA, Kattyllinne. Drenagem superficial . Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/KattyllinneBarbosa/aula-5-45801264>>. Acesso em: 30 set. 2017.

BASTOS, Juceline Batista dos Santos. Influência da variação da umidade no comportamento de pavimentos da região metropolitana de Fortaleza . 2013. 1 - 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)- Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BATISTA, Lorena Cristina Martins. Determinação de parâmetros de deformabilidade de camadas de um pavimento a partir de ensaios de campo . 2007. 1 - 197 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)- Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros . [S.l.: s.n.], 2008. 7 - 496 p.

CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA CONTECC, 72., 2015, Centro de Eventos do Ceará. Análise de estabilidade Marshall em misturas asfálticas com adição de resíduo oleoso da indústria petrolífera ... Fortaleza: [s.n.], 2015. 1 - 4 p.

VALENCIA, Y. G., M'RQUEZ, M. A., CARVALHO, J. C. Y VILLARAGA, M. R. 2005. La meteorización y los mecanismos de inestabilidad de taludes naturales en suelos residuales metamórficos. IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Vol. I, Salvador-Bahia, 2005. 1 – 14 p.

COOPER, Miguel. Granulometria e textura do solo . 2015. 1 - 10 f. Notas de Aula (Física do solo), [S.l.], 2015. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/576877/mod_resource/content/1/Aula%201%20-%20Granulometria%20e%20Textura%20do%20Solo.pdf>. Acesso em: 16 out. 2017.

DE CASTRO, Pery Cesar Gonçalves. Concreto asfáltico para rodovias . 1º. ed. Rio Grande do Sul: EdipucRS, 2015.

DE FREITAS, Renan Pereira. Controle de qualidade em concreto endurecido : Ensaios mecânicos. 2012. 1 - 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia

Civil)- Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

DE MEDINA, Jacques ; DA MOTTA, Laura Maria Goretti. Mecânica dos Pavimentos . 3º. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. 1 - 638 p.

DE SOUZA, Felipe Bicho Rezende. Controle tecnológico aplicado a obras de terraplenagem : Estudo de caso da via expressa transolímpica. 2014. 1 - 59 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil)- Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

DNER, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Agregados - análise granulométrica : 083/98. Rio de Janeiro: [s.n.], 1998. 1 - 5 p.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Misturas Betuminosas - percentagem de betume: 053/94. [S.l.: s.n.], 1994. 1 - 5 p.

DNER, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo: 081/98. Rio de Janeiro: [s.n.], 1998. 1 - 6 p.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Agregado miúdo – determinação da densidade real: 084/95. [S.l.: s.n.], 1995. 1 - 3 p.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Materiais betuminosos líquidos e semi-sólidos – determinação da densidade: 193/96. [S.l.: s.n.], 1996. 1 - 6 p.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Misturas Betuminosas a quente – ensaio Marshall: 043/95. [S.l.: s.n.], 1995. 1 - 11 p.

DNER, Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Misturas Betuminosas – determinação da resistência à tração na compressão diametral: 138/94. [S.l.: s.n.], 1994. 1 - 4p.

DNIT, Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço : 031/2006. [S.l.: s.n.], 2006. 1 - 14 p.

ESP 07, NOVACAP. **Especificação técnica para execução de camadas de concreto betuminoso usinado a quente** . [S.l.: s.n.], 2012. 1 - 22 p.

FRAENKEL, Benjamin B. Engenharia Rodoviária . [S.l.]: Guanabara Dois, 1980. 1 - 854 p.

JUNIOR, José de Almeida Freitas. Materiais de construção : Agregados. 2013. 1 - 110 f. Notas de Aula (Graduação em Construção Civil)- Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Parana, [S.l.], 2013. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/00/TC031_Agregados_.pdf>. Acesso em: 16 out. 2017.

MAIA, Iva Marlene Cardoso. Caracterização de patologias em pavimentos rodoviários . 2012. 1 - 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto - Portugal, 2012.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. Pavimentação . 2012. 1 - 210 p. Notas de Aula (Graduação em Engenharia Civil)- Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, [S.l.], 2012. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2017.

MIRANDOLA, Marco Aurelio. Gestão de manutenção e conservação de pavimento asfáltico em vias urbanas . 2016. 1 - 22 p. Artigo (Pós-Graduação em Infraestrutura, projetos e gestão de rodovias)- Curso de Infraestrutura, projetos e gestão de rodovias, Centro Universitário de Lins, Lins, 2016.

NETO, Rogério Silveira Bezerra. Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecanístico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (MS) . 2004. 1 - 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

PINTO, Salomão; PINTO, Isaac Eduardo. Pavimentação asfáltica : Conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

PORTOPÉDIA, Portogente. Rodovias - Evolução Histórica . Disponível em: <<https://portogente.com.br/portopedia/73420-rodovias-evolucao-historica>>. Acesso em: 17 set. 2017.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos Alberto. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral . 2013. 1-18 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal da Integração Latino Americana, [S.l.], 2013.

POTENTIAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON U.S. TRANSPORTATION, 290., 2008, Estados Unidos. Potential impacts of climate change on U.S. transportation ... [S.l.: s.n.], 2008. 1 - 298 p. Disponível em: <<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2017.

QUIRINO, Marina Eliza Pacífico. Recuperação de pavimentos flexíveis em áreas de taxiamento de aeronaves : Um estudo de caso da pista Fox-2 do aeroporto internacional Tancredo Neves - MG. 2013. 1 - 79 f. Monografia (Graduação no Curso de Especialização em Construção Civil)- Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SANTOS, Jaime A. Obras Geotécnicas : Compactação elementos teóricos. 2008. 1 - 18 f. Notas de Aula (Mestrado em Engenharia Civil)- Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Instituto Superior Técnico, [S.I.], 2008. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/Compacta_T.pdf>. Acesso em: 16 out. 2017.

SOUZA, Murillo Lopes . Método de projeto de pavimentos flexíveis . 3º. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 1981. 1 - 34 p.

ZUCHETTI, Pedro Augusto Bastiani. Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale do Taquari/RS . 2015. 1 - 128 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil)- Centro de ciências exatas e tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.