



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Willys Ribeiro Lopes

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS PELOS MÉTODOS EMPÍRICO E  
MECANÍSTICO: estudo de um trecho da rodovia TO-080 sentido Palmas-TO/Paraíso-TO

Palmas – TO

2018

Willys Ribeiro Lopes

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS PELOS MÉTODOS EMPÍRICO E  
MECANÍSTICO: estudo de um trecho da rodovia TO-080 sentido Palmas-TO/Paraíso-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Palmas – TO

2018

Willys Ribeiro Lopes

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS PELOS MÉTODOS EMPÍRICO E  
MECANÍSTICO: estudo de um trecho da rodovia TO-080 sentido Palmas-TO/Paraíso-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e  
apresentado como requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp Euzir Pinto Chagas

Aprovado em: 16 / 11 / 2018

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

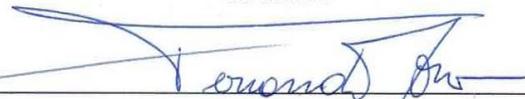


---

Prof. MSc. Edivaldo Alves dos Santos

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Avaliador



---

Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Avaliador

Palmas – TO

2018

## RESUMO

LOPES, Willys Ribeiro. **DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS PELOS MÉTODOS EMPÍRICO E MECANÍSTICO: estudo de um trecho da rodovia TO-080 sentido Palmas-TO/Paraíso-TO.** 2018. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O presente trabalho tem como objetivo comparar os métodos de dimensionamento do pavimento flexível, na Rodovia TO-080, no trecho que liga a cidade de Palmas – TO para Paraíso – TO. Feito com base nos métodos empírico e mecanístico do DNER criado pelo Engenheiro Murillo Lopes de Souza e o método mecanístico utilizado pelo DNIT, através da verificação do dimensionamento pelo método da resiliência utilizando uma planilha da TECNAPAV. Foram realizados os seguintes levantamentos: realização da avaliação estrutural pelo método destrutivo, sendo coletadas as amostras das camadas de base, sub-base e subleito em dois pontos, fazendo também os ensaios de umidade e massa específica aparente seca em campo para cada camada. As amostras foram levadas para o laboratório para caracterização dos estados físicos do solo e sua resistência como: limite de liquidez, limite de plasticidade, granulometria por peneiramento, compactação e o índice de suporte califórnia (CBR). A partir dos dados estudados em laboratório e verificando se atendeu as resistências mínimas, foi possível realizar o dimensionamento pelo método do DNER e pelo método do DNIT e comparando se atendeu as espessuras mínimas existentes no pavimento.

Palavras-chave: Dimensionamento, Número “N”, Métodos Empírico e Mecanístico, Análise estrutural. Ensaios laboratoriais.

## **ABSTRACT**

LOPES, Willys Ribeiro. **DIMENSIONING OF PAVEMENTS BY EMPIRICAL AND MECHANICAL METHODS: study of a section of the TO-080 highway towards Palmas-TO / Paraíso-TO.** 2018. 101 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2018.

The present work has the objective of comparing the methods of designing the flexible pavement on the TO-080 highway, in the stretch connecting the city of Palmas - TO to Paraíso - TO. Made based on the empirical and mechanistic methods of the DNER created by the Engineer Murillo Lopes de Souza and the mechanistic method used by the DNIT, by verifying the dimensioning by the resilience method using a TECNAPAV worksheet. The following surveys were carried out: the structural evaluation was carried out by the destructive method, and the samples of the base, sub-base and subgrade layers were collected at two points, and the moisture and apparent specific dry mass tests were performed in each field. Samples were taken to the laboratory to characterize soil physical conditions and their resistance as: liquidity limit, plasticity limit, sieving granulation, compaction and the California support index (CBR). From the data studied in the laboratory and verifying if the minimum resistances were met, it was possible to carry out the DNER and DNIT method sizing and to compare the minimum thicknesses in the pavement.

Keywords: Dimensioning, Number "N", Empirical and Mechanistic Methods, Structural Analysis. Laboratory tests.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Escala granulométrica ABNT e AASHTO.....	15
Figura 2 - Representação de diferentes curvas granulométricas .....	15
Figura 3 - Sistema de várias camadas.....	16
Figura 4 - Camadas do pavimento flexível.....	17
Figura 5 - Camadas do pavimento rígido .....	18
Figura 6 – Cargas no pavimento e tensões resultantes .....	20
Figura 7 – Eixo simples padrão de roda dupla .....	23
Figura 8 – Tipos de Veículos e suas Cargas Máximas Legais .....	26
Figura 9 - Ábaco de fator equivalente de operações e carga por eixo.....	29
Figura 10 - Ábaco de dimensionamento de pavimentos flexíveis.....	34
Figura 11 - Dimensionamento do Pavimento .....	36
Figura 12 - Camadas do pavimento e seus respectivos números estruturais.....	40
Figura 13 - Procedimento para Determinação de Espessuras de Camadas de Pavimento por Aproximações Sucessivas .....	40
Figura 14 - Fluxograma de Dimensionamento Mecanístico .....	45
Figura 15 - Comportamento Elástico-linear .....	46
Figura 16 - Comportamento Elástico não-linear .....	47
Figura 17 - Valores típicos em solos e camadas granulares .....	51
Figura 18 - Trecho de estudo da rodovia TO - 080 .....	56
Figura 19 - Foto do trecho estudado.....	58
Figura 20 - Verificação das espessuras das camadas e retirada dos materiais .....	64
Figura 21 - Camadas existentes no pavimento .....	64
Figura 22- Procedimento para determinação da densidade in situ .....	65
Figura 23 - Determinação do ensaio de compactação .....	67
Figura 24 - Perfil das camadas dimensionadas.....	70
Figura 25 - Espessuras do pavimento dimensionado.....	72
Figura 26 - Estruturas dimensionadas pelo método do DNER (esq.) e mecanístico (dir.).....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites das frações de solo pelo tamanho.....	14
Tabela 2 - Cargas máximas legais nacionais .....	22
Tabela 3 – Fatores de equivalência de carga para eixos triplos em tandem.....	30
Tabela 4 – Fatores climáticos sugeridos para o Brasil .....	31
Tabela 5 - Faixas granulométricas para material de base granular.....	32
Tabela 6 - Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso .....	35
Tabela 7 - Coeficiente de equivalência estrutural, “K” .....	35
Tabela 8 - Níveis de confiança recomendados .....	38
Tabela 9 - Valores de ZR segundo o Nível de Confiança do Projeto.....	38
Tabela 10 - Valores de coeficientes estruturais .....	42
Tabela 11 - Valores de mi .....	42
Tabela 12 - Espessuras mínimas recomendadas.....	43
Tabela 13 - Características de misturas asfálticas ensaiadas à fadiga .....	49
Tabela 14 - Estimativas do Módulo de Resiliência .....	52
Tabela 15 - Valores de Coeficiente de Poisson para alguns materiais de pavimentação .....	54
Tabela 16 - Média do volume diário .....	61
Tabela 17 - Cálculo para determinar o fator de equivalência de carga .....	62
Tabela 18 - Equações em relações ao tipo de eixo .....	62
Tabela 19 - Resumo do ensaio de granulometria e os limites de consistências .....	66
Tabela 20 - Resultado da compactação .....	67
Tabela 21 - Determinação do Grau de compactação.....	68
Tabela 22 - Resultados dos ensaios de ISC e expansão .....	68
Tabela 23 - Classificação dos solos .....	71
Tabela 24 - Cronograma do projeto.....	75
Tabela 25 - Orçamento do projeto.....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
ESP	Eixo Simples Padrão
ESRD	Eixo Simples Roda Dupla
PG	Progressão Geométrica
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CNT	Código Nacional de Trânsito
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
FEC	Fator de Equivalência de Carga
FC	Fator de Carga
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
VMD	Volume Médio Diário
VMDA	Volume Médio Diário Anual
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
USACE	<i>US Army Corps of Engineers</i>
AASHTO	<i>America Association of State Highway and Transportation Officials Highway Officials</i>

## LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1 - Número “N” .....	25
Fórmula 2 - Crescimento Exponencial .....	23
Fórmula 3 - Crescimento Linear .....	23
Fórmula 4 - Volume Médio Diário .....	23
Fórmula 5 - Volume Total .....	24
Fórmula 6 - Fator de eixo .....	26
Fórmula 7 - Espessura H20.....	31
Fórmula 8 - Espessura Hn.....	31
Fórmula 9 - Espessura Hm .....	31
Fórmula 10 - Número de aplicações da carga do eixo padrão simples de 8,2t.....	32
Fórmula 11 - Número Estrutural.....	34
Fórmula 12 - Coeficiente Estrutural (a2).....	35
Fórmula 13 - Módulo de Resiliência .....	35
Fórmula 14 - Coeficiente Estrutural (a3).....	36
Fórmula 15 – Módulo de Resiliência (MR).....	47
Fórmula 16 - Módulo de Resiliência (MR) .....	47
Fórmula 17 - Módulo de Resiliência (MR) .....	48
Fórmula 18 - Módulo de Resiliência (MR) .....	48
Fórmula 19 - Módulo de Resiliência (MR) .....	49
Fórmula 20 - Módulo de Resiliência (MR) .....	50
Fórmula 21 – Módulo de Elasticidade.....	51
Fórmula 22 - Número de repetições de carga necessárias à ruptura do corpo de prova.....	54
Fórmula 23 - Número de repetições de carga necessárias à ruptura do corpo de prova.....	54
Fórmula 24 - Número de repetições de carga necessárias à ruptura do corpo de prova.....	54

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	10
1.2	HIPÓTESES.....	11
1.3	OBJETIVOS.....	11
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>11</b>
1.4	JUSTIFICATIVA.....	11
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1	SOLOS .....	13
<b>2.1.1</b>	<b>Origem e formação dos solos.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Tamanho das partículas .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Identificação dos solos por meio de ensaios .....</b>	<b>14</b>
2.1.3.1	Análise granulométrica .....	14
2.2	PAVIMENTOS .....	16
<b>2.2.1</b>	<b>Definição de pavimento.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Classificação do pavimento rodoviário.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Estrutura do pavimento .....</b>	<b>18</b>
2.2.3.1	Subleito.....	18
2.2.3.2	Sub-base .....	18
2.2.3.3	Base .....	19
2.2.3.4	Revestimento .....	19
2.3	MECÂNICAS DOS PAVIMENTOS.....	19
2.4	ESTUDO DO TRÁFEGO E DO CARREGAMENTO .....	20
<b>2.4.1</b>	<b>As Cargas Rodoviárias.....</b>	<b>20</b>
2.4.1.1	Eixos.....	21
2.4.1.2	Os veículos .....	21
<b>2.4.2</b>	<b>Número N .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Cálculo do volume médio de tráfego (Vm).....</b>	<b>27</b>
2.4.3.1	Crescimento exponencial.....	27
2.4.3.2	Crescimento linear.....	28
2.4.3.3	Crescimento geométrico .....	28
<b>2.4.4</b>	<b>Cálculo do fator de carga.....</b>	<b>29</b>

<b>2.4.5 Fator de eixo.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.6 Determinação do fator climático regional .....</b>	<b>31</b>
2.5 MÉTODO EMPÍRICO DO DNER .....	31
2.6 MÉTODO DA AASHTO (1993) .....	37
2.7 MÉTODO MECANÍSTICO .....	43
2.8 PROGRAMA COMPUTACIONAL FEPAVE.....	47
2.9 COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS.....	48
<b>2.9.1 Módulo de Resiliência de Misturas Betuminosas .....</b>	<b>48</b>
<b>2.9.2 Módulo de Resiliência dos Solos.....</b>	<b>49</b>
<b>2.9.3 Módulo de Resiliência dos solos lateríticos usados na pavimentação .....</b>	<b>51</b>
<b>2.9.4 Coeficiente de Poisson .....</b>	<b>53</b>
2.10 FADIGA .....	54
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
3.1 DESENHO DE ESTUDO .....	56
3.2 LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO .....	56
3.4 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE.....	57
<b>3.4.1 Identificação de defeitos.....</b>	<b>57</b>
<b>3.4.2 Obtenção do número N .....</b>	<b>57</b>
<b>3.4.3 Avaliação estrutural pelo método destrutivo .....</b>	<b>58</b>
<b>3.4.4 Determinação do dimensionamento do pavimento flexível .....</b>	<b>59</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>61</b>
4.1 ESTUDO DE TRÁFEGO PARA OBTENÇÃO DO NÚMERO “N” .....	61
4.2 ANÁLISE DA ESTRUTURAL DO PAVIMENTO.....	63
4.3 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO .....	68
4.4 VERIFICAÇÃO DO PAVIMENTO PELO MÉTODO DA RESILIÊNCIA (TECNAPAV) .....	71
<b>4.4.1 Procedimentos preliminares .....</b>	<b>71</b>
<b>4.4.2 Dimensionamento do reforço com mistura nova .....</b>	<b>71</b>
<b>4.5 Comparação dos resultados.....</b>	<b>73</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>74</b>
<b>6 CRONOGRAMA.....</b>	<b>75</b>
<b>7 ORÇAMENTO .....</b>	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>80</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

É importante que o pavimento asfáltico tenha um dimensionamento apropriado, para certificar que o carregamento dinâmico das rodas dos carros não irá gerar o trincamento da camada de revestimento. Garante que as espessuras das camadas estejam em um tamanho correto, para diminuir os impactos do afundamento da trilha de roda.

Os métodos de dimensionamento foram estabelecidos a partir das experiências em campo, observando-se o pavimento ao longo dos anos, chamados de métodos empíricos. Ou pela utilização de uma tese elástica de multicamadas, considerada correta para entender o comportamento mecânico simultâneo do pavimento e do subleito, chamado de métodos mecanicistas (SOUZA, 1981)

O método empírico do DNER atende à limitação de deformações excessivas que possam gerar a ruptura do base, sub-base e subleito. Entretanto, este método não leva em consideração a limitação das deformações recuperáveis ou resilientes, cuja repetição sob a ação do tráfego provoca a ruptura por fadiga dos revestimentos asfálticos, que é a principal característica dos métodos mecanicistas (PINTO, 1991).

O método mecanicista utiliza a teoria da elasticidade e considera o pavimento como uma estrutura de multicamadas. Essa estrutura é moldada em camadas para o cálculo de deslocamentos, deformações e tensões geradas por cargas. Essa avaliação permite uma análise qualitativa para o uso de novos materiais, carregamentos diferentes e outros motivos que modificam o desempenho do pavimento.

O presente trabalho será realizado em um trecho da rodovia estadual Neuton José de Moraes TO – 080, sentido Palmas – TO / Paraíso – TO.

### **1.1 PROBLEMA DE PESQUISA**

Sabe-se que ao longo dos anos o tráfego tem aumentado, assim, gerando cargas ao pavimento. Com isso, observa-se que parte da malha rodoviária está desgastando prematuramente, devido à solicitação contínua do tráfego. A partir disso, qual método seria eficaz para a rodovia estadual TO-080 entre Palmas – TO e Paraíso do Tocantins, o empírico segundo o Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) ou o mecanicista segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT)?

## 1.2 HIPÓTESES

Essa pesquisa parte do princípio de que o trecho da rodovia TO-080 entre Palmas – TO e Paraíso do Tocantins possui um grande tráfego de veículos pesados, como veículos comerciais, gerando patologias ao pavimento. Devido a necessidade de melhoria na via por conta do aumento de carga no pavimento, o método empírico DNER e o mecanístico do DNIT darão condições para dimensionar um pavimento que suporte o que está sendo solicitado.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Consiste na análise comparativa de dimensionamento de pavimentos entre o método empírico proposto pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) com o método mecanístico proposto pela Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT)?

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Aplicar os métodos mecanicista e empírico para atender a situação atual do pavimento asfáltico;
- Realizar o estudo de tráfego, para obtenção do número “N”;
- Determinar avaliação estrutural pelo método destrutivo, para identificar a capacidade de carga do pavimento;
- Realizar o dimensionamento do pavimento flexível pelo método do DNER, para atender a situação atual do pavimento asfáltico;
- Realizar o dimensionamento do pavimento flexível pelo método do DNIT, para atender a situação atual do pavimento asfáltico.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Nos anos 70, os métodos usados para dimensionamento no Brasil, especificavam a capacidade em que os pavimentos suportavam em termos de ruptura plástica perante o carregamento estático, representada pelo valor do CBR. Contudo, nota-se que uma grande parte da malha rodoviária estava apresentando uma danificação prematura, remetida à fadiga dos materiais causada pela contínua solicitação do tráfego. Tendo em vista esses problemas, foram

feitos estudos e ensaios para fazer um novo dimensionamento da rodovia TO-080 visando melhoria ao pavimento.

O método elaborado pelo Eng. Murilo Lopes de Souza (método DNER), é um método importante, e ainda hoje continua sendo muito eficiente para ser utilizado. Ao longo dos anos o perfil do tráfego foi modificando, assim aumentando suas cargas. Nos dias atuais, podemos ver muitas carretas com muitos carregamentos sobre um pavimento feito anos atrás, sendo que antes não possuía uma ferramenta computacional e não poderia ter uma análise completa das deformações e tensões do pavimento em forma de camadas.

Entretanto o tema foi definido a partir do interesse de aumentar os conhecimentos sobre mecânica dos pavimentos, analisando os pontos que não são avaliados pelo método do Eng. Murillo Lopes de Souza. E finalmente analisar o método, para saber se ainda vale a pena ser utilizado, uma vez que temos um grande acervo tecnológico e que o método mecanístico fornece algumas informações que são importantes para o dimensionamento que o método empírico não fornece.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 SOLOS**

#### **2.1.1 Origem e formação dos solos**

Segundo Pinto (2006), os solos originam-se conforme a decomposição das rochas de origem, que são chamadas de rochas mãe. Esta decomposição é provocada por agentes físicos e químicos. Quando há diferença de temperatura no solo, são causadas as trincas, onde ocorre à penetração de água provocando quimicamente os minerais. E quando a água congela nas trincas, as tensões se elevam, ocorrendo à elevada fragmentação dos blocos. O contato com fauna e a flora, acontece o ataque químico através da oxidação, hidrólise, hidratação, carbonatação, lixiviação, troca de cátions, e entre outros. A semelhança de todos esses processos que geralmente atuam mais em climas quentes do que em climas frios, ocorre a formação dos solos, que são misturas de partículas pequenas que se distinguem pelo tamanho e composição química. A quantidade de cada tipo de partículas de um determinado solo depende da rocha que se originou.

#### **2.1.2 Tamanho das partículas**

Pinto (2006), diz que encontram denominações específicas para as diferentes parcelas da dimensão de grãos, e os seus limites variam conforme o grupo de classificação. Os valores usados são encontrados na ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), mostrados na Tabela 1. Há uma diferença da terminologia adotada pela ABNT, a parte entre a parcela silte e areia é de 0,075 mm que equivale à peneira nº 200 que é a peneira mais fina utilizada nos laboratórios. O agrupamento de argila e silte são denominados como a parte fina do solo, enquanto o conjunto areia e pedregulho são denominados a parte grossa ou grosseira do solo. A fração argila é classificada como a parcela inferior do diâmetro de 0,002 mm, que corresponde ao tamanho mais próximo das partículas de criação mineralógica dos minerais-argila.

Tabela 1 - Limites das frações de solo pelo tamanho

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	de 25 cm a 1 m
Pedra	de 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	de 4,8 mm a 7,6 cm
Areia grossa	de 2 mm a 4,8 mm
Areia média	de 0,42 mm a 2 mm
Areia fina	de 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	de 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	inferior a 0,005 mm

Fonte: Adaptado de Pinto, 2006.

### 2.1.3 Identificação dos solos por meio de ensaios

Existem dois tipos de ensaios para identificar os solos a partir das partículas que os formam, que são: a análise granulométrica e os índices de consistências.

#### 2.1.3.1 Análise granulométrica

O ensaio de granulometria é usado para definir distribuição granulométrica do solo. É realizada uma avaliação granulométrica para determinar a dimensão dos grãos no solo, realizada em duas etapas: peneiramento e sedimentação. O peso do material que passa em cada peneira, é julgado como a porcentagem que passa, sendo exibido por um gráfico pela abertura da peneira, em escala logarítmica. A abertura da peneira é considerada como diâmetro das partículas. Considerado diâmetro semelhante, visto que as partículas não são esféricas (PINTO, 2006).

Segundo Caputo (1988), as dimensões das partículas são decididas em determinados limites convencionais as partes integrantes dos solos que possuem referências próprias e se discernem com as usuais termologias. Serão mostradas na figura 1 duas escalas granulométricas, muito usadas na parte rodoviária.



## 2.2 PAVIMENTOS

### 2.2.1 Definição de pavimento

É uma superestrutura feita por um agrupamento de camadas de espessuras determinadas, apoiadas sobre um espaço teoricamente considerado como imensurável o terreno de fundação ou infraestrutura, no qual é nomeado de subleito (DNIT, 2006).

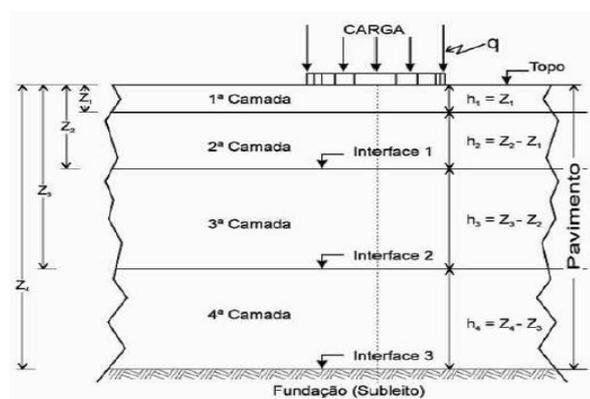
O subleito, então, deve ser analisado até a profundidade onde as cargas exercidas pelo tráfego atuam. Na prática deve ser analisado numa faixa de 0,60m a 1,50m (DNIT, 2006).

Por determinação do DNIT (2006a) o pavimento, conforme a ordem técnico-econômica é uma estrutura formada por camadas, ilustrada na Figura 3, e de materiais com diferentes deformabilidades e resistências, e quando entram em contato um com o outro resulta em um alto grau de complexidade no que se refere no cálculo de deformações e tensões atuantes nas cargas que o tráfego impõem.

Conforme a NBR-7207/82 da ABNT considera-se que o pavimento é uma estrutura feita acima da terraplenagem e proposta, técnica e economicamente, a:

- a) Distribuir e resistir todos os esforços verticais e cargas produzidas pelo tráfego ao subleito.
- b) Melhorar à segurança e comodidade dos motoristas, quanto a condições de rolamento.
- c) Resistir a todos os esforços horizontais atuantes no pavimento, para que o tempo de vida útil da superfície de rolamento seja mais durável.

Figura 3 - Sistema de várias camadas



Fonte: Senço, 2007.

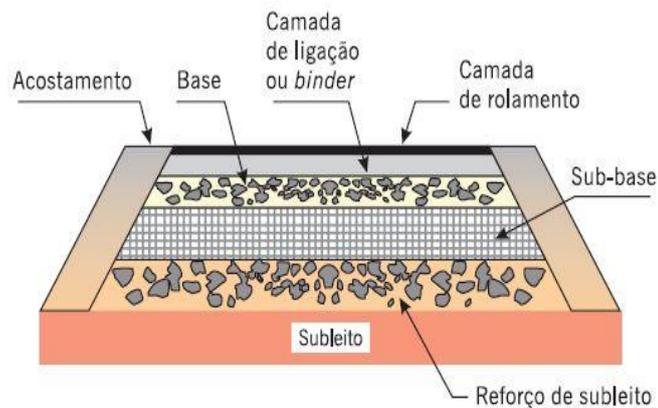
## 2.2.2 Classificação do pavimento rodoviário

Segundo o DNIT (2006a) os pavimentos são classificados como: flexíveis, semirrígidos e rígidos.

- **Flexível:** pavimento em que as camadas tendem a sofrer deformação elástica proporcional ao carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente iguais para as camadas. Por exemplo: pavimento formado por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulho, revestido por camada asfáltica.
- **Semirrígido:** configura como por uma base cimentada com aglutinante com propriedades cimentícias, por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida com uma camada asfáltica.
- **Rígido:** pavimento que possui uma alta rigidez em comparação com as camadas inferiores, logo, absorve quase todas as tensões resultantes do carregamento aplicado. Como por exemplo: pavimentos formados por lajes de concreto com cimento Portland.

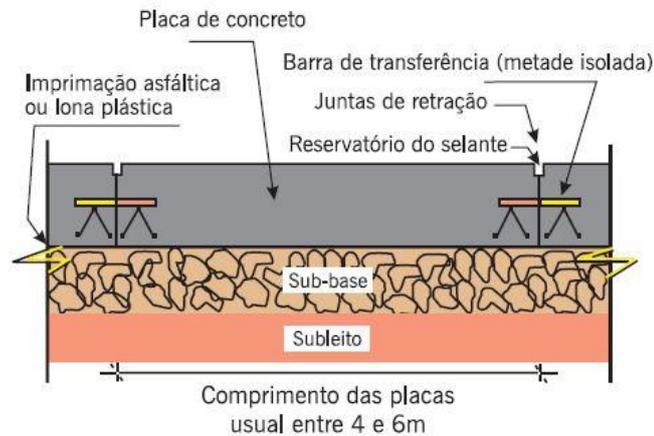
A Figura 4 mostra as camadas do pavimento flexível enquanto a Figura 5 representa as camadas do pavimento rígido.

Figura 4 - Camadas do pavimento flexível



Fonte: Bernucci et al., 2006.

Figura 5 - Camadas do pavimento rígido



Fonte: Bernucci et al., 2006.

## 2.2.3 Estrutura do pavimento

### 2.2.3.1 Subleito

Caracteriza como o terreno de fundação em que todo o pavimento será apoiado. Para estudo deve ser classificado como 0,6 a 1,5 m sua profundidade, que é até onde as cargas que são impostas pelo tráfego atuam.

Deve-se analisar o subleito, e se o CBR for  $< 2\%$  deve ser alterado por um material mais resistente ( $2\% \leq \text{CBR} \leq 20\%$ ) por pelo menos 1,0 m de profundidade.

O material do subleito também pode ser empregado como sub-base, se o CBR for  $\geq 20\%$  (MEDINA, MOTTA, *et al.*, 2005).

### 2.2.3.2 Sub-base

É uma camada para ajudar a base e deve ser produzida quando o CBR do subleito for  $\leq 20\%$ , não sendo aconselhado usar o subleito como sub-base. Também usado para regularização da camada da base (MEDINA, MOTTA, *et al.*, 2005).

### 2.2.3.3 Base

A base é uma camada designada a distribuir e resistir os esforços que são gerados pelo tráfego, e onde será construído o revestimento (MEDINA, MOTTA, *et al.*, 2005).

### 2.2.3.4 Revestimento

É a última camada a ser construída no pavimento, ela que recebe os esforços impostos pelo tráfego e deve ser dimensionado para:

- Melhorar à segurança e comodidade dos motoristas, quanto a condições de rolamento.
- Resistir aos esforços atuantes, deixando mais durável a superfície de rolamento e ser resistente ao desgaste (MEDINA, MOTTA, *et al.*, 2005).

## 2.3 MECÂNICAS DOS PAVIMENTOS

Esta área estuda os pavimentos em sistemas de camadas submetidas às cargas dos veículos. Entre estes veículos, incluem-se todos as classes de veículos como: aviões nas pistas de voos, carros e ônibus nos pavimentos rodoviários e vagões nas ferrovias. Em quaisquer situações, o pavimento compõe-se com uma ou mais camadas de material aplicadas sobre o subleito vindo de um revestimento adaptada aos rolamentos dos veículos. (MEDINA, 1997).

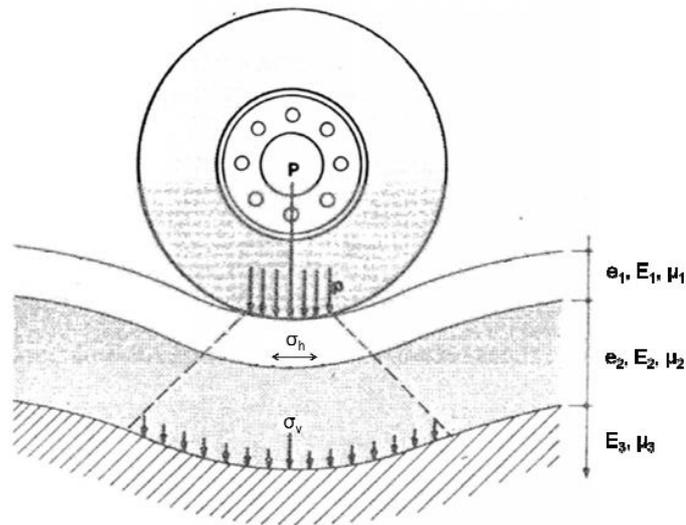
O dimensionamento pode se iniciar considerando que as cargas aplicadas são estáticas. Entretanto, ele é sujeitado a repetidas cargas, sofrendo deformações elásticas e permanentes, e que aumentarão conforme o número de solicitações. A carga de roda, apesar de ter contato com o pavimento aproximadamente oval, pode se dizer que essa superfície é circular.

A carga de roda produza uma distribuição de pressões, mostrada na Figura 6, de aparência circular, sob o pneu, derivado da pressão  $p$  em contato com o pavimento. A pressão que a roda gera sobre o pavimento, pode ser considera uniformemente distribuída.

As camadas que compõem a estrutura do pavimento terão a finalidade de dissolver as tensões verticais que são aplicadas da superfície, para que esta tensão superficial chegue ao subleito em uma fração menor.

O subleito deve receber uma pressão inferior à pressão de contato, para isso a espessura do pavimento deverá ser maior e os materiais utilizados nas camadas desse pavimento devem ser nobres.

Figura 6 – Cargas no pavimento e tensões resultantes



Fonte: PEREIRA, 2008.

Onde:

$P$ = carga de roda;

$p$ = pressão de contato do pneu com o exterior de pavimento;

$\sigma_v$ = tensão vertical no topo do subleito;

$E_i$ = Módulo de deformação;

$e_i$ = espessura;

$\mu_i$ = coeficiente de Poisson;

$\sigma_h$ = tensão horizontal de tração na fibra inferior do revestimento.

A repetição dos veículos em movimento gera deformações resilientes, causando fadiga nas camadas que possuem misturas betuminosas. Os tipos de fadigas levam em consideração as deformações de tração na fibra abaixo do revestimento e tensões. Segundo Motta (1991), o principal mecanismo de ruptura que deve ser considerado, é a reprodução de trincas no pavimento, conforme a verificação de estudo feita nas rodovias federais brasileiras.

## 2.4 ESTUDO DO TRÁFEGO E DO CARREGAMENTO

### 2.4.1 As Cargas Rodoviárias

As cargas que o pavimento recebe são transferidas por meio das rodas dos veículos pneumáticos. O tráfego desses veículos comerciais, como dos caminhões e ônibus, é de suma

importância para dimensionar o pavimento. No dimensionamento do projeto geométrico, deve ser analisado tanto o tráfego de veículos de passageiros quanto o de veículos comerciais (MARQUES, 2004).

#### 2.4.1.1 Eixos

Os veículos com rodas pneumáticas são ligados aos eixos, e podem ser identificadas do seguinte jeito:

- Eixos Simples: São duas ou mais rodas, em que os centros se encontram num plano transversal vertical ou são colocados no meio de dois planos transversais verticais, a uma distância de 1,0 m, que se expandam em toda largura do veículo.

Ainda possui o ESRS: tem duas rodas, que ficam nas extremidades do carro; e os ESRD: possuem quatro rodas, localizadas duas em cada extremidade com 4 pneus.

- Eixos tandem: Possuem dois ou mais eixos próximos, onde os centros estão a uma distância de 1 m a 2,4 m e unidos a uma suspensão distribuindo igualmente a carga para cada eixo.

Ainda possui o EIXOS TANDEM DUPLO: tem dois eixos, que possui duas rodas nas extremidades de cada eixo com 8 pneus; e o EIXO TANDEM TRIPLO: tem três eixos, que possui duas rodas nas extremidades de cada eixo com 12 pneus.

#### 2.4.1.2 Os veículos

No Brasil, há uma lei que regulamenta as cargas máximas legais, conhecida como lei da balança. Esta lei diz que, há certos limites que os veículos comerciais têm de respeitar de cargas por eixo e não podem ser superiores aos valores determinados. Segundo NEVES (2002), o número real da lei é 5-105 de 21/09/66 do CNT, e depois alterada para:

- Decreto N° 62.127 de 16/10/1968;
- Com alterações dadas pelo Decreto N° 98.933 de 07/02/90;
- Lei N° 7.408 de 25 de 25/01/1985, que consolidava uma tolerância máxima de 5%.

A Lei N° 9.043 de 23/09/1997 do Código de Trânsito Brasileiro e da Resolução N°12 de 06/12/1998 do CONTRAN normalizou as cargas máximas legais no Brasil, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Cargas máximas legais nacionais

<b>Eixo</b>	<b>Carga máxima legal</b>	<b>Com tolerância de 7,5%</b>
Dianteiro simples de roda simples	6 t	6,45 t
Simple de roda simples	10 t	10,75 t
Tandem Duplo	17 t	18,28 t
Tandem Triplo	25,5 t	27,41 t
Duplo de Tribus	13,5 t	14,51 t

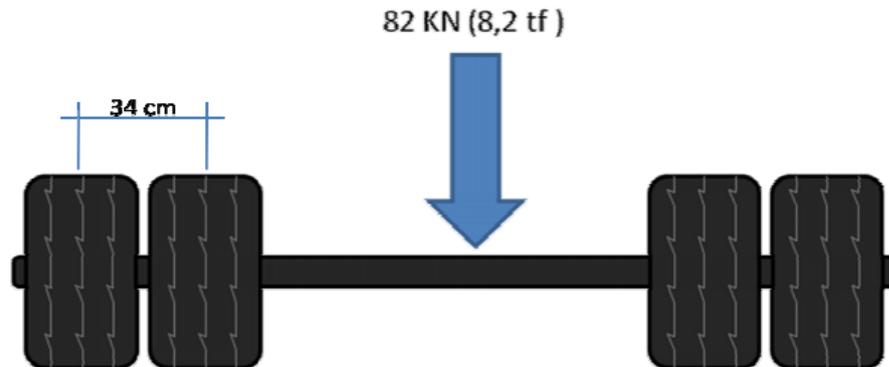
Fonte: Adaptado de MARQUES, 2004.

Segundo Marques (2004) o pavimento pode ser dimensionado com a carga máxima legal. E ainda podem ter algumas limitações:

- Peso bruto por eixo isolado: 10 toneladas ESRD, quando dá em quatro pneus o apoio no pavimento e 5 toneladas quando se dá em dois pneus.
- Peso bruto de dois eixos tandem em conjunto: 17 toneladas quando a distância dos dois planos verticais que sustentem os centros das rodas estiver entre 1,20m e 1,40m.
- Peso bruto de dois eixos não tandem em conjunto: 15 toneladas quando a distância dos dois planos verticais que sustentem os centros das rodas estiver entre 1,20m e 1,40m.
- Peso bruto por harmonia de veículo ou veículo de 40 toneladas: Não poderá ter nenhuma combinação com mais de duas unidades. Então, se a distância dos dois planos equidistantes sustentem os centros das rodas entre dois eixos próximos tiver uma distância abaixo de 1,20m, não poderá ter uma carga superior a 10 toneladas transmitida pelos dois eixos. Entretanto, se a distância for > que 2,40m, podem ser propagadas ao pavimento uma carga de 10 toneladas, pois cada eixo será considerado isolado.

Foi necessário definir a concepção de Eixo Padrão Rodoviário, pois nas rodovias possuem diversos tipos de veículos com variadas cargas nos eixos. Determinou-se nomear internacionalmente o eixo simples padrão (ESP) (Figura 7) em eixo simples com roda dupla com uma carga total de 8,2tf, e uma pressão de pneu com 5,5kgf/cm<sup>2</sup>.

Figura 7 – Eixo simples padrão de roda dupla



Fonte: DNIT, 2006.

O DNER, classifica os veículos como veículos leves, comerciais ou veículos de carga. Conforme NEVES (2002) os veículos são identificados como:

- Veículos leves

- **CARROS DE PASSEIO:** automóveis leves como Kombis e Pick-up, e possuem apenas 2 eixos com rodas simples e dois pneus por eixo (4 pneus).
- **CAMINHÃO LEVE:** são os caminhões leves, os caminhões leves de 2 eixos e as caminhonetes, na dianteira contendo apenas rodas simples e na traseira com rodas duplas com 6 pneus.

- Veículos comerciais

- **ÔNIBUS:** ônibus de viagem e ônibus urbano, utilizados para a condução de passageiros e possui 2 eixos, como o dianteiro com rodas simples e o traseiro com rodas duplas com 6 pneus;
- **TRIBUS:** ônibus que possui três eixos, sendo eixo dianteiro com rodas simples e o traseiro especial, incluindo um eixo com rodas simples e outro com rodas duplas com 8 pneus;
- **CAMINHÃO COM DOIS EIXOS (2C-Pesado):** este grupo contém os caminhões basculantes, com carroceria, taque e baú, veículos moradia, veículos de recreação e camping, etc, possuindo na dianteira dois eixos de rodas simples e na traseira rodas duplas com 6 pneus;

- CAMINHÃO DE TRÊS EIXOS (3C): veículos que possuem 3 eixos no mesmo chassi. Nesta categoria tem os caminhões de carrocera, caminhões basculantes pesados, caminhões basculantes, baús longos e caminhões betoneiras, etc. Contendo na dianteira roda simples, e na traseira rodas duplas, sendo tandem duplo ou não com 10 pneus;
- CAMINHÃO DE 4 EIXOS (4C): veículos que possuem 4 eixos no mesmo chassi, normalmente são basculantes para minérios. Contendo no eixo dianteiro rodas simples, e no traseiro rodas duplas com 14 pneus.

- Caminhões com semirreboques

- CAMINHÃO COM SEMI-REBOQUE DE 3 EIXOS (2S1): veículos que são feitos por 2 unidades, e possuem 3 eixos, sendo que uma dessas unidades contém 2 eixos e é um cavalo motor, e o reboque também possui eixo com 10 pneus;
- CAMINHÃO COM SEMI-REBOQUE, DE 4 EIXOS (2S2): veículos que são feitos por 2 unidades, e possuem 4 eixos, sendo que uma dessas unidades contém 2 eixos e é um cavalo motor, e o reboque contém 2 eixos como tandem duplo com 14 pneus;
- CAMINHÃO COM SEMI-REBOQUE, COM 5 EIXOS (2S3): veículos que são feitos por 2 unidades, e possuem 5 eixos, sendo que uma dessas unidades contém 2 eixos e é um cavalo motor, e o reboque contém 3 eixos como tandem triplo com 18 pneus;
- CAMINHÃO COM SEMI-REBOQUE, COM 5 EIXOS (3S2): veículos que são feitos por 2 unidades, e possuem 5 eixos, sendo que uma dessas unidades contém 3 eixos na traseira sendo duplo e é um cavalo motor, e o reboque com 2 eixos como tandem duplo (18 pneus);
- CAMINHÃO COM SEMI-REBOQUE, COM 6 EIXOS (3S3): veículos que são feitos por 2 unidades, e possuem 6 eixos, sendo que uma dessas unidades contém 3 eixos na traseira sendo tandem duplo e é um cavalo motor e o reboque com 3 eixos como tandem triplo (22 pneus);

- Caminhões com reboques

- CAMINHÃO TRACIONANDO UNIDADES MÚLTIPLAS, DE 5 EIXOS OU MENOS (2C2/2C3/3C2): veículos que são feitos por 2 unidades, e possuem 5 eixos ou menos, sendo que uma delas é motora e apresenta várias configurações;

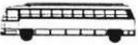
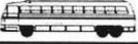
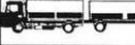
- CAMINHÃO TRACIONANDO UNIDADES MÚLTIPLAS, DE 6 EIXOS (3C3): veículos que são feitos por 2 unidades, e possuem 6 eixos, sendo que uma delas é motora e apresenta várias configurações;
- CAMINHÃO TRACIONANDO UNIDADES MÚLTIPLAS, DE 7 EIXOS OU MAIS (3C4): veículos que são feitos por 2 unidades, e possuem 7 ou mais eixos, sendo que uma delas é motora.

- Caminhões especiais

- BITREM (3S2S2): é uma unidade tratora e possui 2 semirreboques, e 4 conjuntos de eixos com 7 eixos individuais;
- TRITREM (3S2S2S2): é uma unidade tratora e possui 3 semirreboques, e 5 conjuntos de eixos com 9 eixos individuais;
- RODO-TREM (3S2C4): é uma unidade tratora e possui 1 semirreboque, e 1 reboque, e 5 conjuntos de eixos com 9 eixos individuais;
- CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE DE VÁRIOS EIXOS: utilizado apenas quando há grandes cargas;
- SEMI-REBOQUE 3 S 1: Raro de ser utilizado.

A figura 8 apresenta quais os tipos de veículos e suas cargas máximas legais para utilizar no cálculo do número “N”.

Figura 8 – Tipos de Veículos e suas Cargas Máximas Legais

FATORES DE VEÍCULOS PARA CAMINHÕES VAZIOS									
CLASSE / TIPO		CONFIGURAÇÃO	F.V.	TIPOS DE EIXOS				F.V. (VEÍCULOS)	
				1º	2º	3º	4º		
VEÍCULOS LEVES	CARROS DE PASSEIO			AASHTO					
				USACE					
	UTILITÁRIOS (PICK-UPS E FURGÕES)			AASHTO					
				USACE					
ÔNIBUS	ÔNIBUS ≅ 2C			AASHTO	0,0164	0,2635		0,280	
				USACE	0,02	0,30		0,320	
	TRIBUS			AASHTO					
				USACE					
VEÍCULOS COMERCIAIS	CAMINHÃO LEVE (608 e F4000)	2C LEVE		AASHTO	0,0001	0,0023		0,002	
				USACE	0,0002	0,004		0,0042	
	CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS	2C		AASHTO	0,0028	0,0457		0,049	
				USACE	0,004	0,05		0,054	
		3C		AASHTO	0,0164	0,0725		0,089	
				USACE	0,02	0,20		0,22	
		4C		AASHTO	0,0164	0,2182		0,235	
				USACE	0,02	0,92		0,94	
	CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE (CARRETAS)	2S1		AASHTO	0,0164	0,2635	0,2635	0,543	
				USACE	0,02	0,30	0,30	0,62	
		2S2		AASHTO	0,0164	0,2635	0,0725	0,352	
				USACE	0,02	0,30	0,20	0,52	
		2S3		AASHTO	0,0164	0,2635	0,2182	0,498	
				USACE	0,02	0,30	0,92	1,24	
		3S2		AASHTO	0,0164	0,0417	0,0725	0,131	
				USACE	0,02	0,10	0,20	0,32	
		3S3		AASHTO	0,0164	0,0417	0,2182	0,276	
				USACE	0,02	0,10	0,92	1,04	
	CAMINHÕES COM REBOQUE (ROMEU E JULIETA)	2C2		AASHTO	0,0164	0,2635	0,2635	0,2635	0,807
				USACE	0,02	0,30	0,30	0,30	0,92
		2C3		AASHTO	0,0164	0,2635	0,2635	0,0417	0,585
				USACE	0,02	0,30	0,30	0,10	0,72
		3C2		AASHTO	0,0164	0,0417	0,2635	0,2635	0,585
				USACE	0,02	0,10	0,30	0,30	0,72
		3C3		AASHTO	0,0164	0,0417	0,2635	0,0417	0,363
				USACE	0,02	0,10	0,30	0,10	0,52
	"TREMINHÃO"	3C4		AASHTO	0,0164	0,0417	0,0417	0,0417	0,142
				USACE	0,02	0,10	0,10	0,10	0,32

Fonte: NEVES, 2002

### 2.4.2 Número N

“É o número de operações dos eixos dos veículos, equivalentes às solicitações do eixo padrão rodoviário de 8,2 tf no período considerado de vida útil do pavimento” (SOUZA, 1966).

$$N = 365 \times Vm \times P \times (FC) \times (FE) \times (FR) \quad (1)$$

Onde:

N = Número equivalente de operações de eixo padrão;

Vm = Volume médio de tráfego no sentido mais solicitado, no ano médio do período de projeto;

FC = Fator de carga;

P = Período de projeto ou vida útil, em anos;

FE = Fator de eixo;

FV = FC x FE= Fator de veículo;

FR = Fator climático regional

### 2.4.3 Cálculo do volume médio de tráfego (Vm)

Para calcular o Vm, é necessário que considerar uma taxa de crescimento no tráfego para o tempo do projeto. Para o caso de uma nova via, no qual não há dados prévios, deve ser adotado dado das vias existentes que recebem a mesma ligação. Deve ser somado também o tráfego gerado e o tráfego desviado.

Há dois tipos de crescimento do tráfego, que pode avaliar-se de uma forma simplificada: crescimento exponencial e crescimento linear.

#### 2.4.3.1 Crescimento exponencial

Segundo Marques (2004):

$$Vt = 365 \times V0 \times \frac{(1+t)^P - 1}{t} \times k \quad (2)$$

### 2.4.3.2 Crescimento linear

Conforme com Marques (2004):

$$Vt = 365 \times P \times Vm \quad (3)$$

$$Vm = Vo \times \frac{(2+P \times t)}{2} \times k \quad (4)$$

Onde:

$Vt$  = Volume total durante a vida útil  $P$ ;

$Vm$  = Volume médio;

$Vo$  = Volume médio diário do ano anterior ao tempo do projeto;

$T$  = Taxa de crescimento anual;

$k$  = Fator que considera o tráfego gerado e o tráfego desviado.

$P$  = Período de projeto

Tráfego Gerado: é o tráfego que não existia e passa a existir pela consequência do melhoramento da pavimentação com decorrente desenvolvimento para região. Geralmente é realizada por estudos econômicos.

Tráfego Desviado: é o tráfego existente das demais rodovias, por causa do melhoramento da pavimentação, como duplicação da rodovia ou restauração.

### 2.4.3.3 Crescimento geométrico

Segundo o DNIT (2006) deve-se admitir um acréscimo anual em progressão geométrica (PG) de uma taxa  $t\%$ , sendo assim, o volume total do tráfego ( $Vt$ ) é dado pela fórmula:

$$Vt = \frac{365V_1[(1+t/100)^P - 1]}{t/100} \times K \quad (5)$$

Para obter a taxa de crescimento do tráfego “ $t$ ”, deve consultar as estatísticas de tráfego da região. Caso não tenha uma fonte confiável para buscar estes dados, adota-se uma taxa de 2,5% a 3% ao ano (DNIT, 2006).

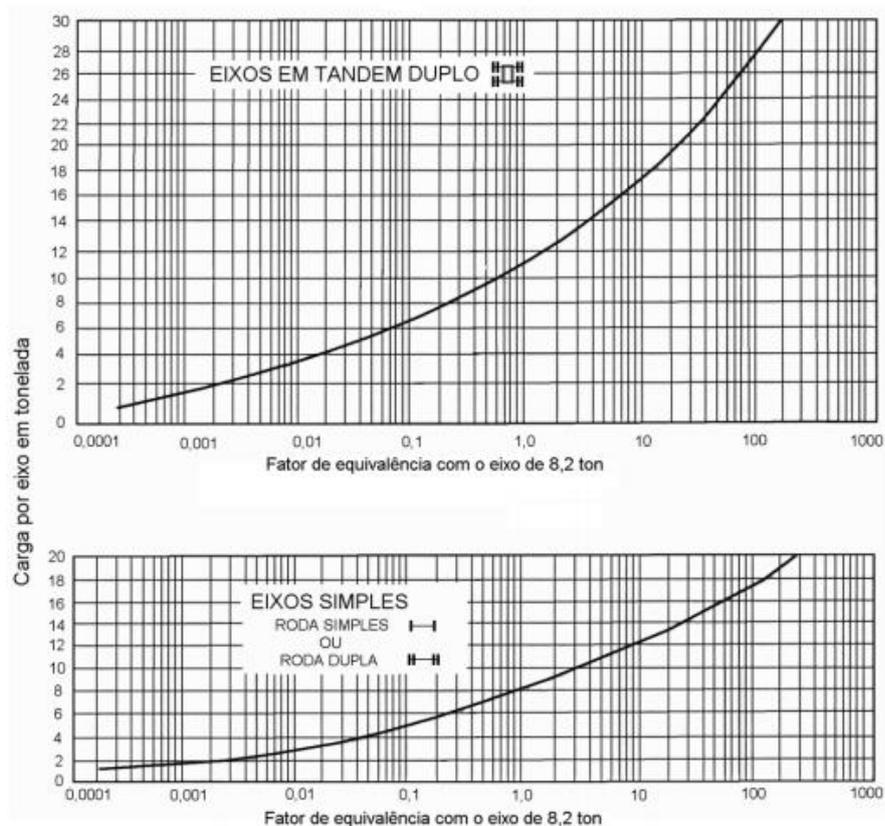
#### 2.4.4 Cálculo do fator de carga

O fator de carga é baseado na definição de equivalência de operações, nomeada de fator de equivalência de operações (DNER, 1966).

O Fator de cargas consiste em transformar qualquer carga em um número equivalente de operações de um eixo padrão, em função do tipo de eixos. Conforme Senço (1997) quando o fator de equivalência de operações é igual a 9, é necessário analisar como um veículo em que a passagem corresponde ao efeito de nove passagens de um veículo padrão.

Os ábacos de escala logarítmica é uma forma de demonstrar os valores de fator de equivalência, entretanto apenas para os veículos de eixo em tandem e eixo simples, mostrado na Figura 9 e também na Tabela 3.

Figura 9 - Ábaco de fator equivalente de operações e carga por eixo



Fonte: DNIT, 2006.

Tabela 3 – Fatores de equivalência de carga para eixos triplos em tandem

Cargas / eixo (t)	Fator Equivalência
6	0,04
8	0,08
10	0,18
12	0,29
14	0,58
16	0,92
18	1,5
20	2,47
22	5,59
24	6,11
28	14,82
30	20,88
32	40,3
34	46,8
36	59,8
38	91
40	130

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

Ao verificarmos o ábaco observa-se que as cargas por eixo menor que 4t, não influenciam no resultado. Ou seja, é como se considerasse apenas veículos comerciais para o cálculo do fator de carga (SENÇO, 1997).

#### 2.4.5 Fator de eixo

O Fator de eixo define o número de eixos por veículo que utiliza uma determinada rodovia (SENÇO, 1997).

$$FE = \left(\frac{p_2}{100}\right) \times 2 + \left(\frac{p_3}{100}\right) \times 3 + \dots + \left(\frac{p_n}{100}\right) \times n \quad (6)$$

Onde:

$p_2$  = porcentagem veículos de 2 eixos;

$p_3$  = porcentagem veículos de 3 eixos;

$p_n$  = porcentagem veículos de n eixos.

### 2.4.6 Determinação do fator climático regional

O pavimento pode apresentar diferentes resistências em diferentes condições climáticas. Isto ocorre pelo fato de que a umidade encontrada dentro da formação do pavimento e do subleito pode-se variar conforme a chuva de determinada região. Logo, a formação do pavimento se comporta diferente, mesmo sendo estando sujeito ao mesmo carregamento, mas sob condições de umidade diferentes, refletindo diretamente na diminuição ou aumento de seu tempo útil de serviço. Buscando minimizar os efeitos no dimensionamento de pavimentos, o método do DNER recomenda o uso de um Fator Climático Regional (Tabela 4), conforme a precipitação pluviométrica anual, e que deve ser empregado no cálculo do número “N”.

Tabela 4 – Fatores climáticos sugeridos para o Brasil

Altura média de chuva anual (mm)	Fator Climático regional (FR)
Até 800 mm	0,7
De 800 a 1.500	1,4
Mais de 1.500	1,8

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

Caso haja a falta de dados, podem-se adotar os valores médios a serem determinados por cada região (DNIT, 2006).

### 2.5 MÉTODO EMPÍRICO DO DNER

O método do DNER foi criado baseado no trabalho “*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*”, seus autores sendo o TURNBULL, 33 FOSTER E AHLVIN do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (USACE), com conclusões obtidas através de experiências da AASHTO. Este método foi criado pelo Engenheiro Murillo Lopes de Souza no ano de 1966, e desde então vêm sendo usado em todo o Brasil com algumas adaptações.

### - Definição dos materiais

Os materiais que compõem o pavimento e a capacidade de suporte para o subleito é determinada a partir do ensaio CBR, utilizando o método proposto pelo DNER, em corpos-de-prova conforme as condições previstas no campo.

O Manual de Pavimentação do DNIT diz que o subleito e as camadas do pavimento devem ser compactados conforme com os valores registrados nas especificações Gerais, indicando-se que o grau de compactação que foi calculado estaticamente não deve ser <100% do valor especificado.

O método obriga que há algumas características que devem ser obedecidas em relação aos materiais usados na construção do pavimento, para que tenha a garantia de que o pavimento não sofra ruptura antes do tempo de projeto, são elas:

- Material do reforço do subleito: o CBR deve ser > que o do subleito, e sua expansão < que 2%.
- Material da sub-base: o CBR deve ser  $\geq 20\%$ , sua expansão < 1% e o IG igual a 0.
- Material da base: o CBR de ser  $\geq 80\%$  ou  $\geq 60\%$ , sua expansão < de 0,5%, LL  $\leq 25\%$  e IP  $\leq 6\%$ .

Os materiais da base devem estar inseridos em uma das faixas granulométricas Tabela 5.

Tabela 5 - Faixas granulométricas para material de base granular

Tipos Peneiras	Para $N > 5 \times 10^6$			Para $N < 5 \times 10^6$			Tolerância da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	$\pm 7$
1"	-	75 - 90	100	100	100	100	$\pm 7$
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-	-	$\pm 7$
Nº 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	10 - 100	$\pm 5$
Nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100	$\pm 5$
Nº 40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	$\pm 2$
Nº 200	2 - 8	5 - 15	5 - 15	10 - 25	6 - 20	8 - 25	$\pm 2$

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

Os grãos que passam na peneira n° 200 deve ser menor que 2/3 dos grãos que passam na peneira n° 40. Os grãos graúdos devem apresentar um desgaste a abrasão  $\leq$  a 50, determinada através do teste Los Angeles. O valor do desgaste pode ser maior, desde que conheça o material. Em alguns casos podem determinar ensaios que representam a durabilidade do agregado graúdo. Para os solos lateríticos, as especificações gerais determinarão valores de expansão, granulometria, durabilidade do agregado graúdo e índices de consistência (DNIT, 2006).

#### - Determinação do tráfego

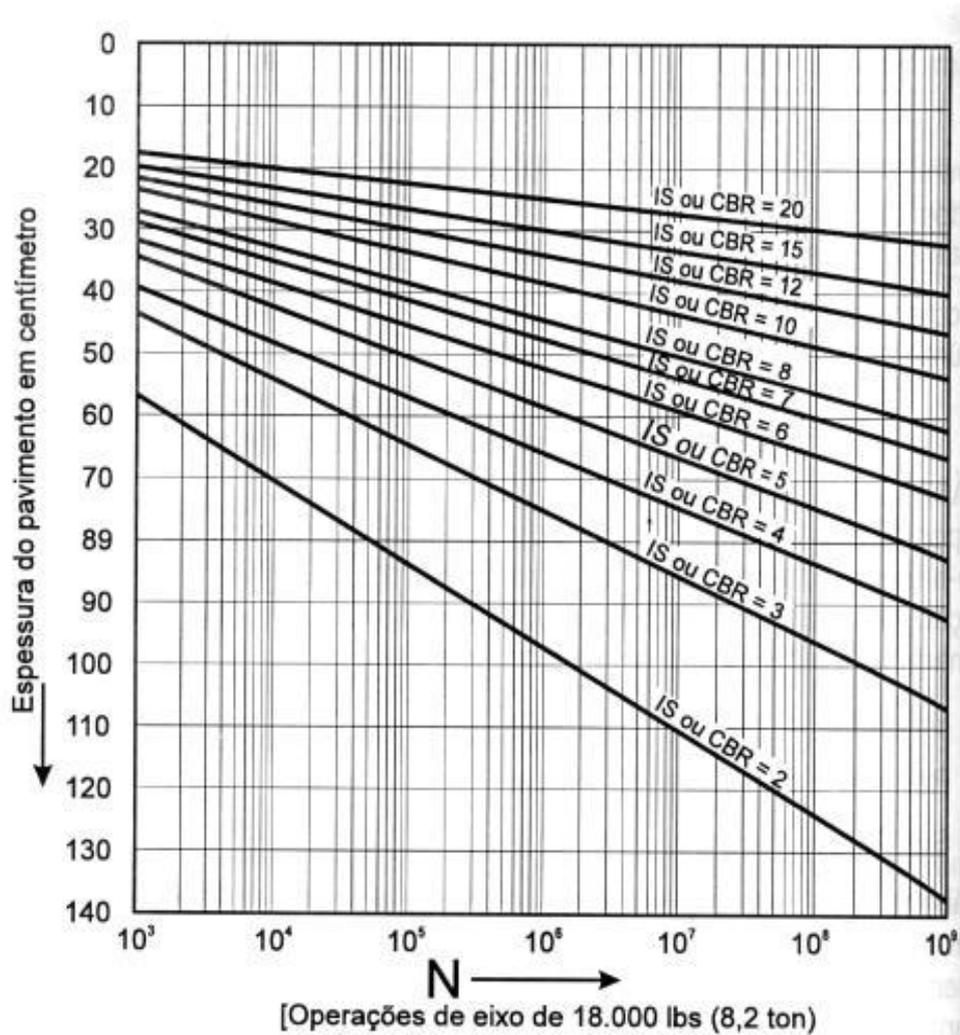
O pavimento é dimensionado conforme o número equivalente (N) de operações de um eixo determinado como padrão, durante o período de projeto escolhido conforme já discutido em 2.4.2.

#### - Dimensionamento do pavimento

##### a) Espessura total do pavimento (Hm)

Na Figura 10, apresenta um ábaco que determina a espessura total do pavimento (Hm), em função do CBR, índice de suporte ou número N; a espessura determinada por este gráfico é em condições de material com  $K = 1,0$ , ou seja, em condições de base granular. Entrando-se em abcissas, com o valor do número N, origina-se na vertical até encontrar a reta, que representa a capacidade de suporte ou CBR e, originando-se horizontalmente encontram em ordenadas, a espessura do pavimento (DNIT, 2006).

Figura 10 - Ábaco de dimensionamento de pavimentos flexíveis



Fonte: DNIT, 2006.

b) Tipo e espessura da camada de revestimento

A definição em espessura mínima a adotar para os revestimentos betuminosos é um dos quesitos que ainda estão em discussão na engenharia rodoviária, que é tratado a proteção da camada de base dos esforços gerados pelo tráfego, como a de evitar a ruptura do revestimento por fadiga da tração na flexão. Na Tabela 6 apresenta as espessuras recomendadas, que têm em vista as bases que possuem comportamento granular (DNIT, 2006).

Tabela 6 - Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimento betuminoso com 5 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 cm de espessura
$N > 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

c) Espessura das outras camadas

Depois de encontrar a espessura total do pavimento (Hm), utilizando o ábaco de dimensionamento, e definida a espessura do revestimento (R), deve-se calcular as espessuras das outras camadas considerando os materiais disponíveis para cada camada e os respectivos coeficientes de equivalência estrutural. Na Tabela 7 mostra o coeficiente que aponta a capacidade de distribuição de tensões que cada material pode ter em ligação com a pedra britada (NETO, 2004).

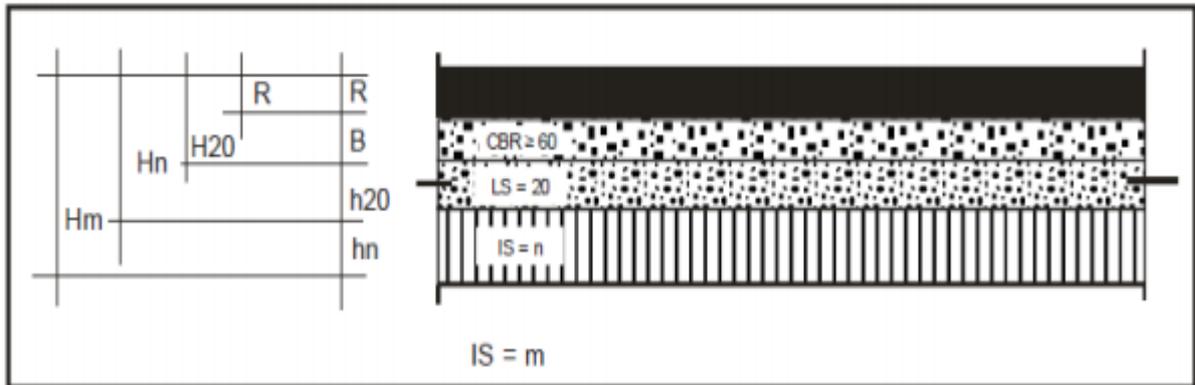
Tabela 7 - Coeficiente de equivalência estrutural, “K”

Componente do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
<b>Camadas granulares</b>	<b>1,00</b>
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência a compressão a 7 dias, entre 45kg/cm e 28kg/cm	1,40
Idem, com resistência a compressão a 7 dias, entre 28kg/cm e 21kg/cm	1,20

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

Na Figura 11 representa a simbologia usada no dimensionamento do pavimento,  $H_m$  caracteriza, de modo geral, é preciso uma espessura total do pavimento para proteger um material com CBR ou  $IS=CBR$  ou  $IS= m$ ;  $h_n$  caracteriza a espessura de camada do pavimento com  $IS= n$  ou CBR, etc.

Figura 11 - Dimensionamento do Pavimento



Fonte: DNIT, 2006.

Segundo DNIT (2006), as espessuras das camadas são obtidas através das inequações visto que os valores das espessuras  $H_m$ ,  $H_n$  e  $H_{20}$  são obtidas através do ábaco de dimensionamento, ilustrado na Figura 10, e a espessura do revestimento ( $R$ ) pela Tabela 6:

$$RKR + BKB \geq H_{20} \quad (7)$$

$$RKR + BKB + H_{20} \times K_s \geq H_n \quad (8)$$

$$RKR + BKB + h_{20} K_S + h_n K_{Ref} \geq H_m \quad (9)$$

Sendo:

$KR$ : coeficiente de equivalência estrutural do revestimento;

$R$ : espessura do revestimento;

$KB$ : coeficiente de equivalência estrutural da base;

$B$ : espessura da base;

$H_{20}$ : espessura de pavimento necessária para proteger a sub-base;

$K_S$ : coeficiente de equivalência estrutural de sub-base;

$h_{20}$ : espessura da sub-base;

Hn: espessura de pavimento necessária para proteger o reforço do subleito;

KRef: coeficiente de equivalência estrutural do reforço de subleito;

hn: espessura do reforço do subleito;

Hm: espessura total de pavimento necessária para proteger um material com CBR igual a m%.

## 2.6 MÉTODO DA AASHTO (1993)

O método do DNER foi criado baseando-se nas pesquisas norte-americanas. O Engenheiro Murillo Lopes de Souza foi quem trouxe este método para o Brasil nos anos de 1960, porém com algumas revisões, mas sem alterar o conceito básico. Já o método da AASHTO, realizou novas pesquisas, alterando sua metodologia dando progresso para as normas de dimensionamento.

O método da AASHTO (1993) para o dimensionamento de pavimentos, foi criado em seu campo experimental, operado e construído nos anos de 1958 a 1960. Foram analisados os resultados de desempenho para cada trecho com várias espessuras “Di”, e foram capazes de comparar as características dos materiais por meio dos coeficientes de equivalência estrutural, e as passagens dos eixos de cada veículo “W18” provocando a perda de eficiência “ΔPSI” no decorrer do tempo (CASTRO, 2000).

É importante evidenciar que os estudos de tráfego para obter o número N de operações equivalentes do eixo padrão usando o Fator de Equivalência de Carga (FEC) da AASHTO, levam a resultados significativamente inferiores comparando-se com o FEC usados pelo método do DNER, ou seja, Fator de Equivalência de Carga (FEC) decorrente dos estudos coordenados por Alvin, Foster e Turnbull para o Corpo de engenheiros do Exército Norte americano – USACE. Então, para uma mesma contagem classificatória e volumétrica, utilizando os mesmos dados de estimativa de crescimento do tráfego e pesagem, e para um mesmo período de projeto, tem-se:  $N_{AASHTO}(W_{18}) = 0,25 N_{USACE}$  (CASTRO, 2000).

O estudo destes dados resultou uma equação empírica. Segundo a AASHTO (1993) a equação é a seguinte:

$$\log W_{18} = ZRS_0 + 9,63 \log(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4,2-4,5}\right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \log MR - 8,07 \quad (10)$$

Onde:

$W_{18}$ : Número de aplicações da carga do eixo padrão simples de 8,2t, no período de projeto t;

SN: Número estrutural que representa a resistência necessária (relativo à espessura) da estrutura total do pavimento;

$\Delta$ PSI: Perda de serventia ao longo do tempo t;

$M_R$ : Módulo de resiliência do subleito;

$Z_R$ : f (classificação funcional), localização;

$S_0$ : desvio padrão combinado para todas as variáveis de projeto.

A constante  $Z_R$  simboliza a confiabilidade do projeto e deve ser levada em consideração. Deve-se incluir um grau de incerteza no projeto, pois os valores de entrada são médios. Por essa razão deve ter plena certeza que a eficiência será a desejada no período de projeto perante as condições de tráfego e ambientais que pode ser crítica no tempo de operação. Nas Tabelas 8 e 9 expõem as recomendações conforme tipo de projeto juntamente com os valores de  $Z_R$ .

Tabela 8 - Níveis de confiança recomendados

CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL	Níveis recomendados de segurança	
	Urbanas	Rurais
Free ways	85 - 99,9	80 - 99,9
Artérias principais	80 - 90	75 - 95
Coletoras	80 - 95	75 - 95
Locais	50 - 80	50 - 80

Fonte: Adaptado de AASHTO, 1993.

Tabela 9 - Valores de  $Z_R$  segundo o Nível de Confiança do Projeto

Reliability, R (percent)	Standard Normal Deviate, $Z_R$
50	0.000
60	0.253
70	0.524
75	0.674
80	0.841
85	1.037
90	1.282
91	1.340
92	1.405
93	1.476
94	1.555
95	1.645
96	1.751
97	1.881
98	2.054
99	2.327
99,9	3.090
99,99	3.750

Fonte: Adaptado de AASHTO, 1993.

O método da AASHTO recomenda para valores do desvio padrão ( $S_0$ ) de 0,35 para pavimentos flexíveis e 0,45 para pavimentos rígidos.

A AASHTO também criou em seu campo experimental o número estrutural. Ele serve para apontar a resistência estrutural do pavimento sendo uma consideração das espessuras de cada camada por meio de pesos, que representam um coeficiente estrutural de cada material. É a relação entre a quantidade de repetições de um eixo de 8,2tf e a necessidade estrutural. É um número representado pela seguinte equação (AASHTO, 1993):

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \quad (11)$$

Onde:

SN: Número estrutural que representa a resistência necessária (relativo a espessura) da estrutura total do pavimento;

$a_i$ : Coeficiente estrutural da  $i$ -ésima camada, que representa a qualidade do material do revestimento, base e sub-base;

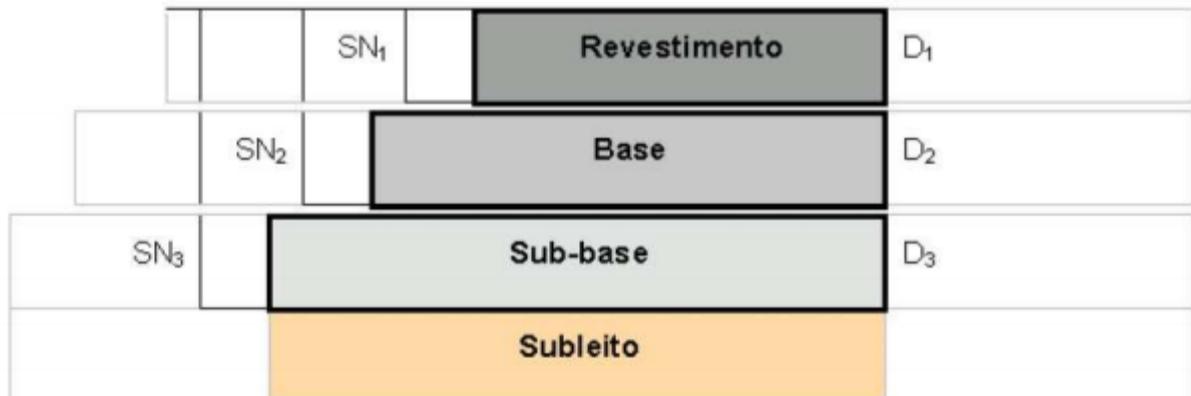
$D_i$ : Espessura em polegadas da  $i$ -ésima camada, (revestimento, base e sub-base), e

$m_i$ : Coeficiente que representa as características de drenagem da camada ( $m_2$  - base e  $m_3$  - sub-base).

Deve ser adotado um determinado SN para calcular-se o  $W_{18}$ , depois de calculado pode mudar após aplicar a equação (11). Quando se calcula o SN através da equação 11, e o valor obtido é superior ao SN necessário (calculado na equação 10), o projeto está aprovado. O SN depende diretamente o índice de suporte do subleito, dos fatores ambientais, das serventias iniciais e finais para o pavimento e do tráfego (AASHTO, 1993)

As Figuras 12 e 13 apresenta o gráfico da disposição das camadas segundo as considerações da AASHTO (1993) do projeto de pavimentação, tal como as inequações relacionadas às análises.

Figura 12 - Camadas do pavimento e seus respectivos números estruturais



Fonte: AASHTO, 1993.

Figura 13 - Procedimento para Determinação de Espessuras de Camadas de Pavimento por Aproximações Sucessivas

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1};$$

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1;$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2};$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2, e$$

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}.$$

1)  $a, D, m$  e  $SN$  são definidos no texto da norma, consistindo, então, estes, os valores mínimos a serem adotados, e

2) Os valores com asterisco indicam que são estes os atualmente em uso, os quais tem que ser maiores ou iguais aos valores requeridos.

Fonte: (AASHTO, 1993)

Conforme Motta (1991) a organização dos fatores estruturais se dá por meio da relação com o módulo de resiliência das camadas, obtidos através de análises que são feitas de tensão e deformação das camadas. O pensamento é de se acertar o coeficiente estrutural para manter um valor constante das tensões que atuam. Por exemplo, para base granular:

$$a_2 = 0,249(\log MR) - 0,977 \quad (12)$$

$$MR = K10^{K^2} \quad (13)$$

Onde:

MR= Módulo de resiliência

a2= Coeficiente estrutural

É um modelo clássico de relação da tensão atuante e o módulo de resiliência, onde K1 e K2 são padrões experimentais que alteram conforme o material e com a compactação. Para sub-base granular:

$$a_3 = 0,227(\log MR) - 0,839 \quad (14)$$

Possíveis valores para K1, K2 e  $\theta$  para base e sub-base encontrados no manual da AASHTO situam-se nas faixas seguintes:

a. base:

Material seco:  $6000 < K1 < 10000$  (psi)

Material úmido:  $4000 < K1 < 6000$  (psi)

Material muito úmido  $2000 < K1 < 4000$  (psi)

$0,5 < K2 < 0,7$

$5 < \theta < 30$  (psi)

b. sub-base:

Material seco:  $6000 < K1 < 8000$  (psi)

Material úmido:  $4000 < K1 < 6000$  (psi)

Material muito úmido  $1500 < K1 < 4000$  (psi)

$0,4 < K2 < 0,6$

$5 < \theta < 10$  (psi)

O coeficiente estrutural começa a ser mais flexível de ser trabalhado, já que ele pode ser ajustado conforme a posição da camada, sua condição de compactação e outros materiais presentes. Contudo, ainda é uma grande simplificação, já que é um número que vai de 0,06 a 0,14 para a2 e a3, tentando caracterizar um estado de tensões que pode variar (MOTTA, 1991). A Tabela 10 mostra os valores dos coeficientes que são aplicados a materiais com resistência à compressão maiores que 4,5 Megapascal (Mpa) com 7 dias.

Tabela 10 - Valores de coeficientes estruturais

Materiais	Valores de Módulo de Resiliência (Mpa)	Coeficientes estruturais		
		AASHTO	Conversão	DNER
Brita graduada	200	0,13	1,0	1,0
Concreto asfáltico	3.164	0,44	3,4	2,0
Pedregulho arenoso (sub-base)	n.d.	0,11	0,85	n.d.
Solo cimento	6.000	0,20	1,54	1,7
Brita graduada tratada com cimento	12.000	0,22	1,69	1,7
Pré-misturado a frio	1.500	0,23	2,1	1,4

Fonte: Adaptado de AASHTO, 1993 e Souza, 1981.

O Número Estrutural é de suma importância, pois abrange uma parcela de avaliação para o sistema de drenagem. Este se manifesta por meio de um coeficiente que altera o coeficiente estrutural (MOTTA, 1991).

Para o dimensionamento do revestimento não se considera a drenagem, apenas na base e sub-base, e quanto menor o coeficiente melhor o desempenho da drenagem, bem como o tempo que o pavimento fica exposto à umidade, quanto menor, melhor (MOTTA, 1991). Na Tabela 11 apresentam-se os valores de  $m_i$  conforme a AASHTO.

Tabela 11 - Valores de  $m_i$ 

QUALIDADE DE DRENAGEM	PERCENTAGEM DO TEMPO EM QUE A ESTRUTURA DO PAVIMENTO É EXPOSTA À SATURAÇÃO			
	Menos do que 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mais do que 25%
Excelente	1,4 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Boa	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muito Pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Fonte: Adaptado de AASHTO, 1993.

É determinado também pelo manual da AASHTO as espessuras mínimas das camadas do pavimento, representado na Tabela 12. Pois as espessuras não podem ser muito finas.

Tabela 12 - Espessuras mínimas recomendadas

TRÁFEGO EIXOS EQUIVALENTES	CONCRETO ASFÁLTICO	BASE DO AGREGADO
Maior do que $5 \times 10^4$	1" ou TS	4"
$5 \times 10^4$ a $1,5 \times 10^5$	2"	4"
$1,5 \times 10^5$ a $5 \times 10^5$	2,5"	4"
$5 \times 10^5$ a $2 \times 10^6$	3"	6"
$2 \times 10^6$ a $7 \times 10^6$	3,5"	6"
Maior do que $7 \times 10^6$	4"	6"

Fonte: Adaptado de AASHTO, 1993.

## 2.7 MÉTODO MECANÍSTICO

O método mecanístico é pouco usado ainda quando se fala em projetos de pavimentos, já o método do DNER é bastante usado nos projetos rodoviários brasileiros, até mesmo com a padronização da Verificação da Resiliência. Há possibilidades de que aos poucos esta prática seja utilizada e que os órgãos regentes da área concordem com o método mecanístico. A chance de introduzir metodologias que são criadas no exterior com assunto teórico – experimental, sempre pecará pelo material empírico com validade contestável (Medina, 2003).

Alguns estados brasileiros, os Departamentos de Estradas de Rodagem requerem as análises mecanísticas para a comparação de resultados dos procedimentos padronizados. Este ato acaba provocando alguns problemas que prejudicam a utilização do método mecanístico, podendo gerar resultados que não condizem com a realidade. Então, as empresas que não são obrigadas, por forças contratuais, a executar sondagens e ensaios que são adequados para obter um resultado preciso das características resilientes dos materiais utilizados, acabam adotando módulos de resiliência que já viraram rotina serem utilizados para as misturas usadas na pavimentação. E assim vai produzindo resultados não consistentes da execução do método mecanístico.

Este estudo estabelece em relação ao método mecanístico para dimensionamento de pavimentos. O método mecanístico fundamenta nas consecutivas constatações:

- As metodologias de projetos padronizados no Brasil são bastante generalistas, determinando atividades que são pouco objetivas, impondo atividades às vezes

pouco objetivas e/ ou redundantes, que acaba acumulando desnecessariamente os projetos, tanto quanto se falam em custos quanto em prazos, sendo assim são projetadas estruturas superdimensionadas, que não significam que são estruturas eficientes;

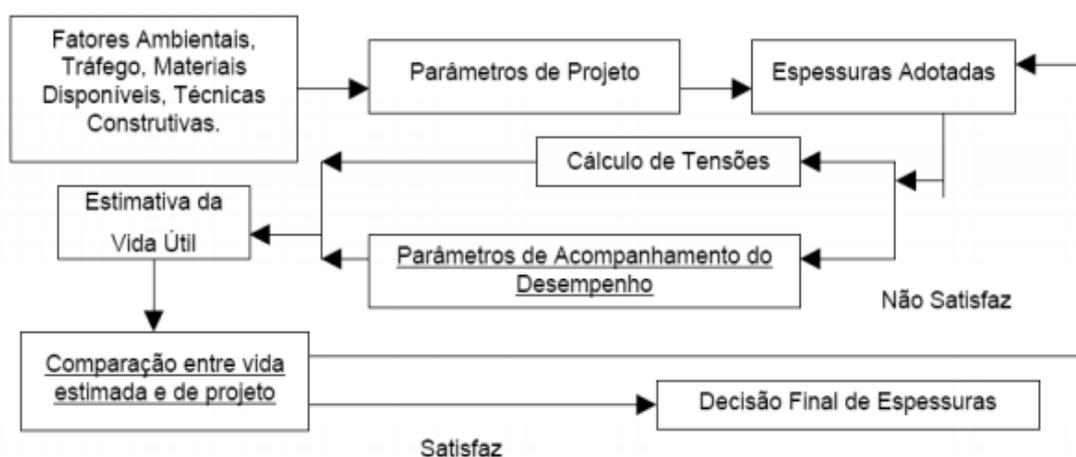
- O Método da Resiliência caracteriza como a primeira experiência de considerar a análise deformações e tensões pelo método dos elementos finitos utilizados nos programas de cálculos de pavimentos como o FEPAVE (“Finite Element Analysis of Pavement Structures”) e outros. Na figura 14, mostra os caminhos de dimensionamento mecânico para pavimentos flexíveis. A avaliação do subleito quanto à resiliência é feita através de relações com o CBR e a razão silte. As camadas granulares são expostas através de um módulo resiliente que depende da tensão confinante e os módulos de revestimentos asfálticos são considerados. A deflexão máxima aceita é determinada em função da vida útil de fadiga do revestimento. Mas deve ser feita revisão e atualização que depende de 42 parâmetros de resiliência definidos com rigor e maior variação dos parâmetros de vida útil de fadiga das misturas asfálticas. O comportamento racional de deformação permanente deve ser integrado. O método é chamado Método Teórico - Experimental (ou Mecânica) de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis (MEDINA, 1997);
- Os métodos empíricos apresentam fatores que são inadequados ao tratamento de problemas de pavimentação nas regiões com clima tropical, causando incoerências;
- Nos dias de hoje, através de procedimentos mecânicos de projetos, é possível construir estruturas rodoviárias maiores, econômicas e mais duráveis, levando em consideração os fatores climáticos regionais, e;
- Os métodos mecânicos, ao fazerem análises do estado de tensões vigente na estrutura, podem avaliar com precisão fatores essenciais do desempenho dos pavimentos convencionais, que se constituem da tensão horizontal radial de tração na parte inferior do revestimento e da tensão vertical de compressão no topo do subleito. Estes fatores são de suma importância quanto a durabilidade da estrutura, e não podem ser determinados através dos métodos empíricos (MOTTA, 1991).

Em última análise, têm grande dificuldade na modelagem racional na estrutura do pavimento, e isso ocorre devido ao firmamento dos fatores de cálculo: alta variação das características físicas dos materiais utilizados, e a complexa simulação e previsão do carregamento que a estrutura estará sujeita ao longo de sua vida útil. Na previsão do desempenho mecânico da estrutura introduzem nas características dos materiais que compõem a estrutura, em conjunto e isoladamente, do pavimento correspondente aos fatores climáticos. Isso reforça o quanto é importante a aplicação da mecânica dos pavimentos em projetos rodoviários.

A avaliação dos procedimentos mecanísticos, parte do ponto em que uma determinada estrutura do pavimento em testar a estrutura conforme os princípios de tensões e deformações atuantes, baseado na teoria da elasticidade, assim conseguindo a melhor composição estrutural, determinando as espessuras e as camadas que compõem o pavimento no projeto. A análise é feita a partir do equilíbrio das tensões e deformações impostas pelo tráfego e a capacidade resistente dos materiais.

Quando os critérios não são satisfatórios, os cálculos são refeitos e as camadas e espessuras são alteradas. Os critérios a serem adotados são os seguintes: diferença de tensões no revestimento, deflexão máxima admissível na superfície; tensão e deformação de tração na fibra inferior do revestimento e tensão vertical admissível no topo do subleito. Alguns destes critérios se justapõe conforme à finalidade. Mas na prática nem todos estes critérios precisam ser levados em conta, pode-se escolher um para evitar o trincamento por fadiga e outro para prevenir deformações permanentes excessivas no subleito (MOTTA, 1991).

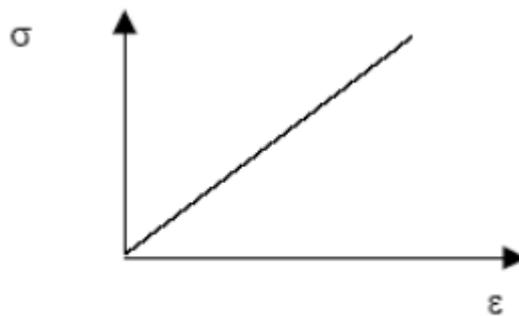
Figura 14 - Fluxograma de Dimensionamento Mecanístico



A etapa do fluxograma referente ao cálculo das tensões refere-se as cargas provenientes do tráfego que são impostas sobre a estrutura a partir da repetição do eixo dos veículos padrões de 8,2t e ao cálculo das deformações, que são as tensões geradas na estrutura. As metodologias utilizadas para o cálculo levam em consideração os materiais conforme os comportamentos de tensão e deformação distintos: elástico-linear e elástico não-linear.

O comportamento elástico-linear parte do ponto de que o Módulo de Resiliência de um material se mantém constante, ao decorrer de toda a espessura da camada formada pelo mesmo material. Ou seja, o valor do Módulo de Resiliência deste material se mantém o mesmo ao decorrer de toda a altura, sendo submetido pelo mesmo estado de tensões. A Figura 15 representa o comportamento elástico-linear.

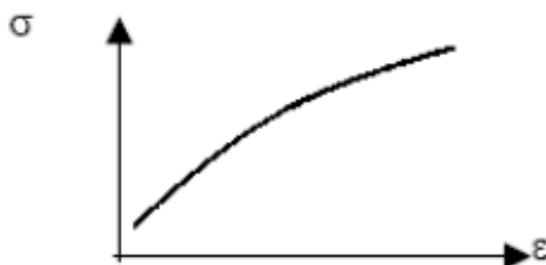
Figura 15 - Comportamento Elástico-linear



Fonte: FEC Unicamp, 2006.

O programa FEPAVE, faz a análise utilizando o comportamento elástico-não linear, e parte do ponto de que o Módulo de Resiliência de um material pode-se variar, ao decorrer de toda a espessura da camada formada pelo mesmo material. Ou seja, o valor do Módulo de Resiliência deste material não se mantém constante ao decorrer de toda a altura, sendo submetido tensões dependentes. A Figura 12 representa o comportamento elástico-não linear de uma estrutura de pavimento (DAROUS, 2006)

Figura 16 - Comportamento Elástico não-linear



Fonte: FEC Unicamp, 2006.

## 2.8 PROGRAMA COMPUTACIONAL FEPAVE

Para obter as deformações, tensões e deslocamentos nas estruturas de pavimentos, faz-se o uso de programas computacionais, sendo que o FEPAVE é o mais usado pelos pesquisadores brasileiros, por possibilitar a consideração do comportamento elástico não linear dos materiais que compõem as camadas dos pavimentos.

O programa computacional FEPAVE foi criado na Califórnia em 1968 e tem como base o método dos elementos finitos para calcular os deslocamentos e tensões nas estruturas dos pavimentos. O desenho da estrutura é decomposto em malhas quadrangulares e a carga de uma roda é imposta na superfície, distribuída de forma igual em uma área circular. Já para as estruturas não-lineares, a carga da roda é imposta em acréscimos iguais e os módulos de cada elemento são calculados pelas equações de resiliência, determinadas por ensaios em laboratório, em consequência dos níveis de tensões causados pelos acréscimos de cargas anteriores. Os módulos iniciais podem ser calculados considerando ou não as tensões gravitacionais, admitindo rigorosamente doze camadas sedimentadas de materiais distintos.

Uma das vantagens do FEPAVE é a possibilidade de poder analisar radialmente e axialmente os materiais com características variáveis, variando também o módulo dos materiais asfálticos conforme a temperatura. E como desvantagem, o FEPAVE assume apenas uma carga de roda.

Atualmente o FEPAVE é fácil de ser encontrado e está disponível para microcomputadores e possui uma entrada criada por SILVA (1995).

Segue abaixo os dados de entrada e saída do programa:

- Entrada:
  - Raio de carregamento e pressão média das rodas do veículo;
  - Algumas propriedades dos materiais como: módulo resiliente, coeficiente de Poisson e peso específico;
  - Tensão vertical de compressão no subleito;
  - Dados geométricos da estrutura que será analisada;
  
- Saída:
  - Tensão vertical de compressão no subleito;
  - Diferença de tensão no subleito;
  - Deformação específica de reação na fibra inferior do revestimento;
  - Deflexão da superfície do pavimento.

## 2.9 COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS

### 2.9.1 Módulo de Resiliência de Misturas Betuminosas

O ensaio de tração indireta por compressão diametral cíclica é utilizado para determinar o módulo de resiliência das misturas asfálticas, simulando como os revestimentos asfálticos se comportam na área em que ocorre deformação de tração, motivadores pela fadiga da camada, uma vez que simula o comportamento mecânico dos revestimentos asfálticos na região onde ocorrem deformações de tração, responsáveis pela fadiga da camada e pela vida de serviço que a estrutura possui (PINTO, 1991).

Nas misturas betuminosas, os ensaios são feitos impondo-se uma carga de forma repetida no plano vertical em um corpo de prova cilíndrico. Essa carga então, gera tensões de tração transversalmente ao plano de aplicação da carga. Logo após, é medido o deslocamento diametral que pode ser recuperado na direção horizontal conforme à tensão que foi gerada, em uma determinada temperatura (BERNUCCI et al, 2007).

Neste ensaio, para determinar o módulo de resiliência (MR) faz-se uma relação entre a tração ( $\sigma_t$ ) e a tensão, normal ao plano vertical diametral de um corpo de prova cilíndrico, e a condizente deformação resiliente ( $\epsilon_t$ ), a uma dada temperatura (T), conforme a fórmula (2).

$$MR = \left( \frac{\sigma_t}{\epsilon_t} \right) \quad (15)$$

O módulo de resiliência é definido conforme os ensaios triaxiais, em que se impõe uma tensão confinante  $\sigma_3$  e tensão de desvio gerada pela carga dos veículos  $\sigma_d$  com a fórmula (MEDINA, 1997, p. 173):

$$MR = f(\sigma_3, \sigma_d) \quad (16)$$

Existem alguns valores de MR relacionado a misturas usadas nos revestimentos, e citadas no país (25°). As misturas variam ao longo tempo. Quando o ligante asfáltico envelhece, ocorre mudanças no MR, em razão do crescimento da rigidez no revestimento. A tabela 13 apresenta alguns destes valores.

Tabela 13 - Características de misturas asfálticas ensaiadas à fadiga

Nº	TIPO	CAP	MR (Mpa)	Resistência a tração $\sigma_t$ (Mpa)
1	Binder	50/60	3700	0,56
2	Capa	50/60	4000	0,86
3	Capa	85/100	2100	0,64
4	Binder	85/100	2300	0,47
5	Capa	85/100	2800	0,59
6	Binder	85/100	2300	0,52
7	Capa	50/60	3400	0,70
8	Binder	50/60	3600	0,77

Fonte: Adaptado de MEDINA, 1997.

## 2.9.2 Módulo de Resiliência dos Solos

O módulo de resiliência dos solos é definido através do ensaio triaxial de cargas repetidas pela fórmula (2). A deformação total é dividida em dois componentes: um resiliente,

que é recuperável, e outro permanente, que é irrecuperável. A vida de fadiga das camadas superficiais mais rígidas, é determinada conforme a deformabilidade elástica ou resiliente, por causa das flexões sucessivas.

Os solos e as britas não são considerados materiais elásticos lineares, por este motivo não se pode apenas aplicar a lei de Hooke. Os módulos resilientes dos solos são dados a partir da relação dos estados de tensões que são geradas pelas cargas impostas pelos veículos. O que deve ser feito é definir nos ensaios triaxiais na fórmula (16), conforme as condições de umidade, grau de saturação e densidade que o solo apresenta in situ (MEDINA, 1997).

Conforme Medina (1997), inúmeros fatores influenciam no módulo resiliente do solo, como: umidade, densidade, constituição mineralógica, estado de tensões e plasticidade do material.

Já o Duncan et al (1968), diz que o módulo de resiliência de materiais granulares pode ser influenciado pela tensão de confinamento ( $\sigma_d$ ), expresso pela fórmula (5).

$$MR = K1 \times \sigma_3^{K2} \quad (17)$$

Onde:

MR = Módulo de Resiliência

$\sigma_3$  = Tensões de confinamento

K1 E K2 = Constantes experimentais

Já para os solos coesivos, o módulo de resiliência faz relação com a tensão de desvio, sendo representada pela equação 18:

$$MR = K1 \times \sigma_d^{K2} \quad (18)$$

Onde:

MR = Módulo de Resiliência

$\sigma_d$  = Tensões de desvio

K1 E K2 = Constantes experimentais

Nos dias de hoje, os pesquisadores têm usado um modelo mais genérico para simbolizar a variação do módulo de resiliência com o estado de tensão dos materiais geotécnicos. Este

novo modelo leva em consideração, simultaneamente, a tensão de desvio com a tensão confinante no módulo de resiliência, conforme a equação (7).

$$MR = K1 \times \sigma_3^{K2} \times \sigma_d^{K3} \quad (19)$$

Onde:

MR = Módulo de Resiliência

$\sigma_d$  = Tensões de desvio

K1, K2 e K3 = Constantes experimentais

Há outra forma de encontrar o módulo de resiliência dentro de uma faixa, conforme a situação e o material, apresentado na tabela 12

Figura 17 - Valores típicos em solos e camadas granulares

<b>Solos Finos Melhorados com Cimento (para reforços de subleitos)</b> <i>M<sub>R</sub> = 200 MPa a 400 MPa</i>	
<b>Materiais Granulares</b>	
<b><i>Britas Graduadas, Macadames Hidráulicos, Saprolitos e Congêneres</i></b>	
Em pavimentos flexíveis (com 3 camadas)	M <sub>R</sub> = 150 MPa a 250 MPa
Em pavimentos semi-rígidos invertidos (com 4 camadas)	M <sub>R</sub> = 300 MPa a 500 MPa
<b><i>Solo-Brita Descontínuo</i></b>	
Empregar o módulo de resiliência do solo de referência.	
<b>Solos Finos em Bases e Sub-Bases</b>	
<i>Solos de Comportamento Laterítico (LA, LA', LG')</i>	
M <sub>R</sub> = 150 MPa a 300 MPa	
<b><i>Solos Finos em Subleitos e Reforços de Subleito</i></b>	
<i>Solos de Comportamento Laterítico (LA, LA', LG')</i>	
M <sub>R</sub> = 100 MPa a 200 MPa	
<i>Solos Finos de Comportamento Não-Laterítico (NA, NA', NS', NG')</i>	
M <sub>R</sub> = 25 MPa a 75 MPa	

Fonte: Heukelom e Klomp (1962)

$$M_R [MPa] = 10,4 \times CBR$$

Fonte: PEREIRA, 2008.

### 2.9.3 Módulo de Resiliência dos solos lateríticos usados na pavimentação

Os pesquisadores têm buscado fazer relações entre os ensaios geotécnicos que são menos complexos do que os de triaxial cíclico e o módulo de resiliência, a partir do momento

em que as concepções de deformabilidade foram inclusas para as análises de estruturas dos pavimentos (NETO, 2004). Usa-se essas relações para o pré-dimensionamento na fase de anteprojeto, para analisar as alternativas de traçado a serem decididas.

Todo solo no Brasil é considerado laterítico. Sabendo deste fato, foram criados alguns parâmetros para solos lateríticos, para estabelecer os valores do módulo de resiliência em conformidade com o CBR (CARDOSO, 1988).

$$MR = \frac{179,0412(CBR)^1 \times 0,08774 \times (\theta)^1 \times 4,3833}{(\sigma_1)^1} \times 0,18598 \quad (20)$$

Onde:

MR = Módulo de Resiliência (psi)

CBR = Índice de Suporte Califórnia (%)

$\theta$  = Primeiro invariante de tensão (psi)

$\sigma_1$  = Tensão principal maior (psi)

Tabela 14 - Estimativas do Módulo de Resiliência

CAMADAS	TIPOS	ESTIMATIVAS EM Mpa
SUBLEITO	LATERÍTICOS (LA' e LG')	$E_{sl} = 22,0 (CBR)^{0,8}$
	NÃO LATERÍTICO (NA' e NG')	$E_{sl} = 18,0 (CBR)^{0,64}$
	ARENOSO POUCO OU NÃO COESIVO (LA, NA e NA')	$E_{sl} = 14,0 (CBR)^{0,7}$
REFORÇO	LATERÍTICOS (LA' e LG')	$E_{ref} = (CBR)^{0,8}$
	NÃO LATERÍTICO (NA' e NG')	$E_{ref} = 18,0(CBR_{ref})^{0,64} \times \sqrt[3]{\frac{3CBR_{sl}}{CBR_{sb}}}$
SUB-BASE	GRANULAR	$E_{ref} = 18,0(CBR_{sb})^{0,64} \times \sqrt[3]{\frac{3CBR_{sl}}{CBR_{sb}}}$
BASE	GRANULAR	$100 \leq E_b \leq 500$
	BETUMINOSA	$800 \leq E_b \leq 1000$
	CIMENTADA	$5000 \leq E_b \leq 15000$
MISTURAS BETUMINOSAS	CONCRETO ASFÁLTICO	$3000 \leq E_{ca} \leq 5000$
	PMQ	$2000 \leq E_{pmq} \leq 2500$
	BINDER	$1400 \leq E_{bd} \leq 1800$
	PMF OU MACADAME BETUMINOSO SELADO	$1000 \leq E_{pmf} \leq 1400$

Fonte: Adaptado WALTER, 1999

Quando se possui os resultados do ensaio Marshall, os valores de E pode ser determinado para as misturas asfálticas, conforme a equação abaixo (NETO, 2004):

$$E = 340 \left( \frac{E_b}{F} \right)^0 \quad (21)$$

Onde:

$E_B$  = Estabilidade (kgf);

F = Fluência (1/100");

E = Módulo de Elasticidade (MPa)

Essas equações fazem com quem possam avaliar o módulo de resiliência dos materiais em cada camada conforme a estabilidade de Marshall e o CBR.

#### 2.9.4 Coeficiente de Poisson

O coeficiente de Poisson ele é considerado adimensional e está ligado a deformação dos materiais. Senço (1997) diz que, o coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) é dado conforme a deformação axial e radial. Se o material for isotrópico seu coeficiente de Poisson será  $\nu=0,25$ . Já para os materiais incompressíveis o coeficiente é  $\nu=0,5$ .

A partir de investigações foi visto que há variações no coeficiente de Poisson em materiais granulares. Foi determinado pelo ensaio triaxial com cargas repetitivas, empregando as tensões confinantes cíclicas. Obtiveram a conclusão que usando os ensaios triaxiais com tensões confinantes foram superiores aos valores utilizando ensaios triaxiais com tensões confinantes cíclicas (BROWN, 1975).

Quando a confiabilidade do coeficiente de Poisson não puder ser medida, pode-se usar os valores apresentados na tabela abaixo (TRB, 1975).

Tabela 15 - Valores de Coeficiente de Poisson para alguns materiais de pavimentação

Material	Faixa de variação
Concretos Asfálticos	0,32 - 0,38
Concreto de Cimento Portland	0,15 - 0,20
BGS, MH e BC	0,35 - 0,40
CCR, BGTC	0,15 - 0,20
SC, SMC	0,20 - 0,30
SCA	0,25 - 0,30
Solos arenosos	0,30 - 0,35
Areias compactadas	0,35 - 0,40
Solos finos	0,40 - 0,45

Fonte: Adaptado BALBO, 2007

## 2.10 FADIGA

A fadiga em camadas cimentadas e betuminosas, podem ser originadas das deformações causadas pelos veículos.

A fadiga é a deterioração estrutural que o material sofre quando está submetido a cargas e tensões repetidas, causando fissuras que com o tempo evoluem para rupturas completas ou trincas. Ou seja, é quando o material se deteriora quando é submetido a carregamentos repetitivos. Logo, a resistência a fadiga de uma mistura asfáltica é a capacidade que o material suporta as cargas impostas pelo tráfego.

Pode ocorrer o trincamento por fadiga na parte inferior do revestimento asfáltico, espalhando-se por todo o revestimento até a superfície, ou também pode se iniciar pela superfície superior do revestimento causado pelas tensões críticas. Assim, MEDINA (1997) diz que pode se iniciar o trincamento na superfície da camada por causa do formato das rodas, para os revestimentos que possuem mais de 20 cm de espessura.

O principal mecanismo que causa a deterioração no revestimento asfáltico é o trincamento por fadiga (MOTTA, 1991).

A vida útil da fadiga das misturas asfálticas pode ser influenciada por alguns elementos como: tipo de CAP utilizado na mistura, granulometria, temperatura, volume de vazios da mistura, magnitude das cargas, etc.

Conforme MOTTA (1995), existem duas maneiras de se estimar a vida útil de fadiga de misturas betuminosas:

- Em pista de simulação de tráfego que parecem com as condições de um pavimento ou em ensaios de placa;
- ensaios feitos em laboratório com corpos-de-prova submetidos a níveis de tensões para simular as condições de solicitação no campo.

Conforme Neto (2004) tem-se usado bastante o ensaio de compressão diametral com carga repetida para conseguir resultados da vida útil de fadiga de misturas asfálticas, por ser um ensaio de simples execução, pela baixa variabilidade dos resultados, pela fácil preparação dos corpos de prova e por representar muito bem as situações em campo.

Medina (1997 p. 220) diz que existem modelos que representam a vida da fadiga conforme as equações abaixo:

$$N = K \times \left(\frac{1}{\Delta\sigma}\right)^n \quad (22)$$

$$N = K \times \left(\frac{1}{\Delta t}\right)^n \quad (23)$$

$$N = K \times \left(\frac{1}{\sigma t}\right)^n \quad (24)$$

Onde:

N = número de repetições de carga necessárias à ruptura do corpo de prova;

$\Delta\sigma$  = diferença entre tensão vertical e horizontal;

$\sigma t$  = tensão de tração aplicada;

$\epsilon t$  = deformação de tração;

n; K = parâmetros experimentais.

### 3 METODOLOGIA

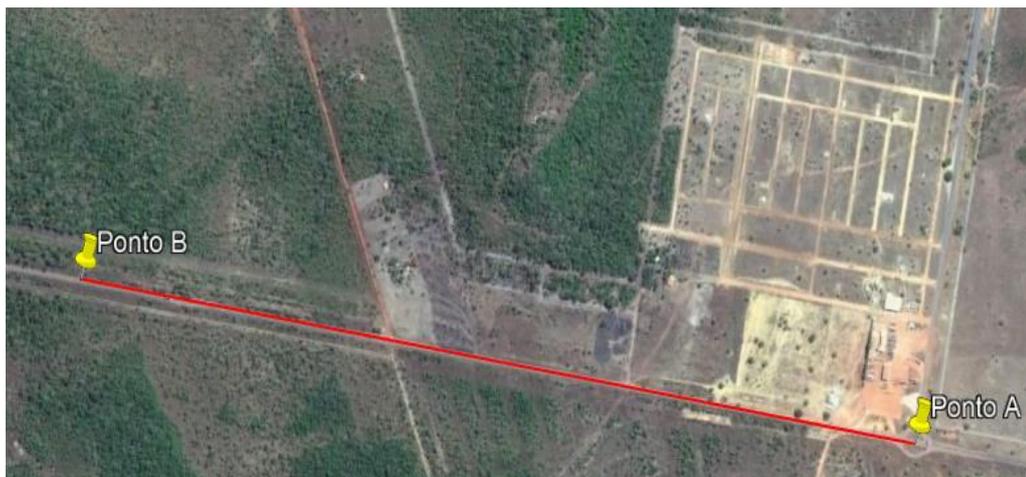
#### 3.1 DESENHO DE ESTUDO

O trabalho foi realizado a fim de propiciar uma análise comparativa do método empírico do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) e do método mecanicista do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), para o dimensionamento de pavimento. Para o estudo foram exercidas algumas etapas. Por meio da revisão bibliográfica, foi definido os procedimentos e métodos de dimensionamento que são utilizados pelos órgãos públicos que regem e núcleos de pesquisa voltados para os projetos rodoviários.

#### 3.2 LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO

O local da realização do estudo está situado entre as coordenadas de latitude inicial:  $10^{\circ}11'30.40''$  Sul; longitude final:  $48^{\circ}30'42.38''$  Oeste e latitude final:  $10^{\circ}11'32.04''$  Sul; longitude final:  $48^{\circ}29'36.61''$  Oeste, localizado na rodovia TO-080 na cidade de Luzimangues - TO. O trecho para estudo tem uma extensão de aproximadamente 2 km. Trecho mostrado na figura 15.

Figura 18 - Trecho de estudo da rodovia TO - 080



Fonte: Google Earth

### 3.3 OBJETO DE ESTUDO

O estudo desta pesquisa foi realizado com o propósito de avaliar as condições estruturais do pavimento flexível na TO-080, situada em Palmas – TO sentido Paraíso –TO, com delimitação de aproximadamente 2 km, sendo que todo o procedimento foi baseado em biografias, o trecho em questão será estudado a fim de ser obter os parâmetros através de ensaios em laboratórios e pesquisas realizadas em campo.

Os procedimentos para a coleta de dados foram realizados primeiramente com a escolha de um ponto para ser avaliado e classificado a fim de determinar a condição atual da superfície do pavimento, em seguida fazer estudo de tráfego para definir o número “N”. Em seguida, foi feito a retirada amostra dos solos granulares de cada camada separadamente e determinando a espessura. Com os ensaios realizados em laboratório, foi verificado os fatores de classificações quanto às exigências mínimas de projeto rodoviário de acordo com o número “N”, CBR de cada camada, limites de consistências e índice de grupo.

Logo após, através de uma planilha do Excel, foi dimensionado a restauração do pavimento mostrando como deveria ser feito de acordo com a necessidade atual da rodovia, avaliando através das cargas em que o pavimento recebe.

### 3.4 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE

#### 3.4.1 Identificação de defeitos

Avaliação de patologias nos pavimentos asfáltico é de grande importância, pois estabelece à patologia que caracteriza o pavimento de maior uniformidade, a identificação de defeitos encontrados no trecho entre Palmas- TO e Paraíso –TO será feito visualmente em todo o trecho determinado, sendo classificado de acordo com a norma de classificação de defeitos do DNIT-TER (005/2003).

#### 3.4.2 Obtenção do número N

O estudo de tráfego para obtenção do número N é um fator predominante para dimensionamento de pavimentos, ou seja, determinamos a demanda atual e a composição de veículos ao longo do trecho. O número N foi realizado por contagem classificatória e por

pesagem dos veículos. A determinação desse dado será composta por volume médio diário anual, classificação da frota, carregamento da frota, fator de equivalência de carga e por fim determinamos o número N, todo esse procedimento é baseado no manual de estudo de tráfego do DNIT (2006).

Para determinação do volume médio diário, foi realizada uma busca do volume médio diário através de ofício para AGETO, eles repassaram a última contagem que foi realizada pelo método automático, sendo contabilizados 21 dias, no período de 24 horas.

Após a realização do volume de tráfego, pôde determinar o volume médio diário, considerando um crescimento anual em porcentagem conforme a fórmula 4.

Outro dado importante para determinação do fator de carga e fator de eixo foi determinado conforme a tabela 3, sendo assim fazendo o produto para determinação do fator número “N” fórmula 1.

Figura 19 - Foto do trecho estudado



Fonte: Google Earth

### 3.4.3 Avaliação estrutural pelo método destrutivo

A realização da avaliação pelo método destrutivo na TO-80 no trecho estudado, foi feito através de duas aberturas de cavas laterais no acostamento da pista em um sentido. A cava feita possuía dimensões de 0,50 m x 0,50 e profundidade de 0,60 m com o propósito de identificar a divisão entre as camadas e os materiais utilizados foram pá, picareta e cavadeira. A retirada desses furos tem o propósito de identificar a espessura e a retirada da amostra de cada camada.

Após a retirada do material granular, as amostras foram levadas para o laboratório de solos e assim determinou-se os seguintes ensaios e procedimentos, baseado nas seguintes referências:

- a) Solos - determinação do limite de liquidez (NBR 6459);
- b) Solos- determinação do limite de plasticidade (NBR 7180);
- c) Solos – análise granulométrica por peneiramento (NBR 7181);
- d) Solos - ensaio de compactação (NBR 7182);
- e) Solos - determinação do índice de suporte califórnia utilizando amostras não trabalhada (DNER-ME 049/94);
- f) Solos – determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia (NBR 7185).

#### **3.4.4 Determinação do dimensionamento do pavimento flexível**

A determinação do dimensionamento do pavimento flexível da rodovia TO-80, Palmas - TO sentido Paraíso – TO foi pelos métodos empírico do DNER do Engenheiro Murillo Lopes de Souza, e mecanístico do DNIT, criado pelos engenheiros Salomão Pinto e Ernesto Preussler. O método empírico utiliza dois fatores principais para obtenção da espessura do revestimento e das camadas, que são a determinação do CBR e número “N”. Já o método mecanístico, utiliza três fatores principais que são: CBR, número “N” e a porcentagem de silte encontrada no material.

Com as amostras já ensaiadas no laboratório, podemos determinar o dimensionamento a partir da classificação do número “N” conforme a (tabela 6) que apresenta a espessura mínima de revestimento. Em seguida de acordo com a (figura 11) as camadas são divididas e para realizar a espessura da camada de base, é necessário obter o dado inferior a esta camada. Por tanto é realizado o cálculo, o CBR utilizado é o da sub-base. Esse procedimento é feito para as demais camadas.

A espessura mínima de qualquer camada é 15 cm, CBR de base é indicado através do número “N” sendo que o valor mínimo é definido como 60% e para sub-base é classificado para cálculo como CBR constante igual a 20%. Todo este procedimento é realizado conforme o método do Engenheiro Murillo Lopes (DNER) e algumas classificações foram embasados de acordo com o BALBO (2007).

Para o método mecânico após a realização dos ensaios, é feito os cálculos para determinar as espessuras de cada camada. Neste trabalho foi utilizado uma planilha adaptada pelo Professor Especialista Euzir Pinto Chagas do TECNAPAV, que faz a verificação do dimensionamento pelo método da resiliência. Esta planilha necessita dos seguintes dados para o dimensionamento: CBR, número “N” da camada do subleito, período de projeto e granulometria da camada do subleito, apresentando as porcentagens passantes em cada peneira. Resultando nas espessuras de cada camada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ESTUDO DE TRÁFEGO PARA OBTENÇÃO DO NÚMERO “N”

Para o estudo de tráfego realizado no trecho da TO-080 entre Palmas - TO e Paraíso – TO, foi realizado contagem volumétrica classificatória dos veículos pela Agência Tocantinense de Transporte e Obras (AGETO), através do posto de coleta automático situado como referência no Km – 16 no período entre 09/05/2017 à 22/05/2017. Sendo esse a contagem de tráfego mais próxima realizada pela agência e utilizada para essa pesquisa. O quadro a seguir mostra a média do volume médio diário:

Tabela 16 - Média do volume diário

VEÍCULOS	Leve/Micro Ônibus (2C)	Médio/Ônibus > 8,7e<12m (2C)	Pesado >= 12 e 24m (3s2)	Especial >=24 m (3C2)
	A	B	C	D
PASSAGENS	346,57	270,71	435,21	12,00

Fonte: AGETO, 2017.

O volume médio diário de passagem (VMD1) = 1064,49 passagens

Para determinação do número “N” foi considerado a vida útil de projeto de 15 anos e taxa de crescimento de 3%. Sendo assim poderemos determinar o volume médio diário ao longo da vida útil:

$$VMD = VMD1 * [2 + (P - 1) * t/100] / 2$$

$$VMD = 1064,49 * [2 + (15 - 1) * 3/100] / 2$$

$$VMD = 1288,53 \text{ passagens.}$$

Onde:

VMD1 = Passagens diárias;

P = Período de projeto (anos);

t = Taxa de crescimento (%).

Para o cálculo de fatores de equivalência de carga (USCE), foi realizado pelo quadro seguinte:

Tabela 17 - Cálculo para determinar o fator de equivalência de carga

Veículos (EIXOS)	Eixos		Fci	Fi	fi	Fci * fi
	Simples	Duplo				
A (Dianteiro)	4		0,0545	346,57	0,1339	0,0073
A (Traseiro)	7,5		0,5442	346,57	0,1339	0,0729
B (Dianteiro)	6		0,2779	270,71	0,1046	0,0291
B (Traseiro)	10		3,2895	270,71	0,1046	0,3441
C (Dianteiro)	6		0,2779	435,21	0,1682	0,0467
C (Médio)		17	8,5488	435,21	0,1682	1,4379
C (Traseiro)		17	8,5488	435,21	0,1682	1,4379
D1 (Dianteiro)	6		0,2779	12,00	0,0046	0,0013
D2 (Médio)		17	8,5488	12,00	0,0046	0,0393
D3 (Médio)	10		3,2895	12,00	0,0046	0,0151
D4 (Traseiro)	10		3,2895	12,00	0,0046	0,0151
			Somatório	2588,19	FC	3,4467

Fonte: Próprio autor

Onde:

FCi = Equação da Fórmula (FC);

Fi = Quantidade de vez que o eixo passou na via;

fi = Fi do Eixo / Fi Total;

FC = Somatória do Fci \* fi de todos os eixos.

Para determinar o valor de FCi foi utilizado as seguintes fórmulas:

Tabela 18 - Equações em relações ao tipo de eixo

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2642}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3543}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

Fonte: DNIT, 2006.

Para o cálculo de fator de eixo foi realizado a seguinte fórmula:

$$FE = (FEa \times Passagens a) + (FEb \times Passagens b) \div (Passagens a + Passagens b)$$

$$FE = ((2 \times 346,57) + (2 \times 270,71) + (3 \times 435,21) + (4 \times 12)) / (346,57 + 270,71 + 435,21 + 12)$$

$$FE = 2,43$$

O fator de veículo é determinado pela seguinte expressão

$$FV = FE * FC$$

$$FV = 2,43 * 3,4467$$

$$FV = 8,3755$$

Com todos esses dados calculados, realizou-se o número “N”, utilizando a seguinte expressão:

$$N = 365 * VMD * P * FV$$

$$N = 365 * 1288,53 * 15 * 8,3755$$

$$N = 5,91 \times 10^7$$

Após o cálculo do número “N”, podemos definir e verificar em campo se a espessura mínima do revestimento conforme a tabela 6.

Sendo assim, podemos classificar o revestimento como concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura.

#### 4.2 ANÁLISE DA ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

Após a autorização da AGETO para realização da retirada das amostras, foi dado o início da pesquisa em campo. O laboratório utilizado foi o da Coceno Construtora. Para a análise da estrutura do pavimento foi realizado um furo através do método destrutivo, seguindo a sequência das seguintes camadas: revestimento, base, sub-base e subleito. Os materiais utilizados foram a pá, picareta e cavadeira, foi verificado a medição da espessura das camadas durante a retirada de material conforme a figura 19.

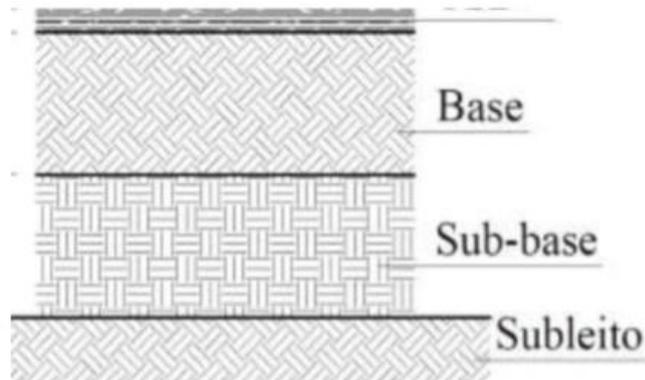
Figura 20 - Verificação das espessuras das camadas e retirada dos materiais



Fonte: Próprio autor

A figura 20 esquematiza as espessuras das camadas atuais do pavimento:

Figura 21 - Camadas existentes no pavimento



Fonte: Próprio autor

Revestimento CBUQ: 5 cm

Espessura da camada de base: 20 cm

Espessura da camada de sub-base: 19 cm

Cada camada de material granular que foi coletado foi realizada o ensaio de “speedy test”, para possível determinação da umidade in loco e a massa específica aparente seca do material em estado natural pelo método do frasco de areia. O apêndice A mostra os resultados dos ensaios realizado em campo, planilhas A1, A2 e A3.

A figura 21 mostra a determinação da densidade in situ pelo método do frasco de areia.

Figura 22- Procedimento para determinação da densidade in situ



Fonte: Próprio autor

Os ensaios de limite de liquidez foram realizados em todas as amostras retiradas no pavimento, conforme a norma NRR 6459. Para os limites de plasticidade foi auxiliado pela norma NBR 7180.

O ensaio de limite de liquidez nas camadas de base e sub-base apresentou resultado não plástico, logo o solo analisado não fechou com 25 golpes, logo para estas camadas foi classificado limite de liquidez igual à zero, para a camada de subleito apresentou limite de liquidez igual a 38,7%. Ver apêndices: A10 e A14.

Da mesma forma o limite e plasticidade nas camadas de base e sub-base tiveram resultado não plástico, indicando limite de plasticidade igual à zero. Para a amostra do subleito foi possível moldar a cilindro de 10 cm de comprimento por 3 mm de espessura, obtendo o resultado de 25,9%. Os ensaios dos índices físicos estão no apêndice A.

A tabela abaixo mostra o resultado dos ensaios: granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade e outras determinações.

Tabela 19 - Resumo do ensaio de granulometria e os limites de consistências

Camadas	Lado	Índices Físicos				Porcentagem que passa pela peneira			Class.	y (máx)	Umidade Ótima
		LL	LP	IP	IG	10	40	200			
		%	%	%		%	%	%	TRB	g/cm <sup>3</sup>	%
Subleito	L/D	51,5	25,7	10,6	4	65,7	45,9	29,8	A-4	1,835	11,8
	L/E	38,7	25,9	7,3	4	66,0	46,1	29,9	A-4	1,828	11,8
Sub-base	L/D	NP	NP	0	0	41,5	31,4	23,2	A-1-B	2,089	10,2
	L/E	NP	NP	0	0	40,0	31,1	23,6	A-1-B	2,056	10,3
Base	L/D	NP	NP	0	0	41,5	31,4	23,2	A-1-B	2,089	10,2
	L/E	NP	NP	0	0	40,0	31,1	23,6	A-1-B	2,056	10,3

Fonte: Próprio autor

Pela classificação TRB o solo na base e sub-base é do tipo A-1-B, material constituindo de fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia, sendo que não houve limites de liquidez e nem plasticidade, IG = 0, solo este recomendado para o emprego como subleito, o solo do subleito é do tipo A-4 sendo solo material siltsos, IP variando entre 7,3 e 10,6, no lado esquerdo e direito da rodovia, respectivamente, e IG igual a 4, este solo não é recomendado para o emprego como comportamento como subleito sofrível a mau. Os gráficos estão nos apêndices: A4; A7; A10 e A13.

## ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Para a realização do ensaio de compactação foi retirado uma porção do material seco e compactado em um cilindro com volume conhecido, variando a umidade de forma a obter-se a umidade ótima do solo. Para fazer o ensaio de compactação foram realizadas utilizando energias normal para o material do subleito e intermediária para o material de base e sub-base, com um cilindro grande. O ensaio foi realizado seguindo a Norma NBR 7182. As determinações estão no apêndice A5; A8; A11; A14.

A figura 22 mostra a determinação do ensaio utilizando o cilindro metálico e o soquete.

Figura 23 - Determinação do ensaio de compactação



Fonte: Próprio Autor

A tabela abaixo mostra o resumo dos resultados determinado pela energia de compactação de camada e umidade:

Tabela 20 - Resultado da compactação

Camadas	Lado	Energia	N° de golpes	$\gamma$ máx (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade ótima (%)
Subleito	Direito	Normal	12	1,835	11,8
	Esquerdo	Normal	12	1,828	11,8
Sub-base	Direito	Intermediária	26	2,089	10,2
	Esquerdo	Intermediária	26	2,056	10,3
Base	Direito	Intermediária	26	2,089	10,2
	Esquerdo	Intermediária	26	2,056	10,3

Fonte: Próprio autor

Ao finalizar os ensaios de umidade em laboratório foi possível determinar o grau de compactação, conforme a tabela abaixo.

Tabela 21 - Determinação do Grau de compactação

Camadas	Lado	y aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )	y máx no laboratório (g/cm <sup>3</sup> )	Grau de compactação (%)
Subleito	Direito	1791,00	1835,0	98,0
	Esquerdo	1755,00	1828,0	98,6
Sub-base	Direito	2034,00	2089,0	98,9
	Esquerdo	2019,00	2056,0	98,8
Base	Direito	2044,00	2089,0	99,4
	Esquerdo	2052,28	2056,0	99,1

Fonte: Próprio autor

## ENSAIO DE ISC E EXPANSÃO

Para determinação do ISC para fins de verificação da camada de base para a rodovia TO-080, tendo em vista que o Número “N” do pavimento é  $5,91 \times 10^7$ , tem que atender no mínimo valor de 80%. Logo que para esse estudo a rodovia atendeu o referente CBR. Os valores da tabela 20, representa os resultados da expansão, CBR e umidade ótima, os gráficos estão nos apêndices: A6; A9; A12 e A15.

Tabela 22 - Resultados dos ensaios de ISC e expansão

Camadas	Lado	Expansão (%)	CBR (%)	y máx (gm/cm <sup>3</sup> )	Umidade ótima (%)
Subleito	Direito	0,10	30,2	1,835	11,8
	Esquerdo	0,16	30,0	1,828	11,8
Sub-base	Direito	0,00	47,0	2,089	10,2
	Esquerdo	0,00	47,0	2,056	10,3
Base	Direito	0,00	47,0	2,089	10,2
	Esquerdo	0,00	47,0	2,056	10,3

Fonte: Próprio autor

### 4.3 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

Após a determinação da espessura mínima de 10 cm do revestimento de concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura. Sendo que o número “N” atual calculado foi de  $5,91 \times$

10<sup>7</sup>. Para o cálculo das camadas do pavimento é utilizado a camada inferior, para o seguinte caso é usado o CBR de sub-base igual 20%, pois pelo método do DNER padroniza quando o CBR da sub-base for superior a 20% para fins de cálculo adotar esse valor.

Os coeficientes de equivalência estrutural dos materiais de cada camada são especificados na tabela 7.

➤ Determinação da espessura de base acrescentada com revestimento

$$H_{eq} = 77,7 * N^{0,0482} * CBR^{-0,598}$$

$$H_{20} = 77,7 * (5,91 * 10^7)^{0,0482} * 20^{-0,598}$$

$$H_{20} = 30,69 \text{ cm}$$

Observação: Conforme o método de dimensionamento do DNER, quando o número “N” for superior que 10<sup>7</sup>, deve - se substituir H<sub>20</sub>, por 1,2 \* H<sub>20</sub>.

Então:

$$H_{20} = 1,2 * 30,69$$

$$H_{20} = 36,83 \text{ cm}$$

➤ Determinação da espessura da camada de base

$$R * K_r + B * K_b \geq H_{20}$$

$$10 * 2 + B * 1 \geq 36,83$$

$$B = 16,83 \text{ cm}$$

Adotar altura da base igual a 20 cm

➤ Determinação da camada de sub-base somada com base e revestimento

$$H_n = 77,7 * N^{0,0482} * CBR^{-0,598}$$

$$H_n = 77,7 * (5,91 * 10^7)^{0,0482} * 20^{-0,598}$$

$$H_n = 30,7 \text{ cm}$$

➤ Determinação da espessura da camada de sub-base

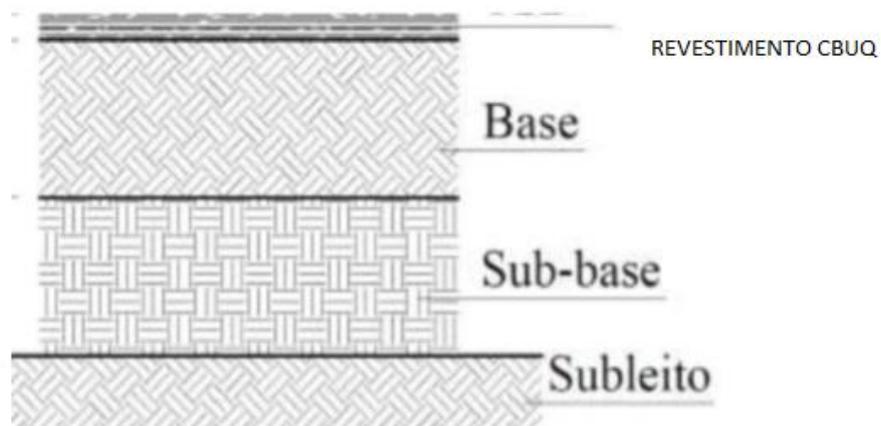
$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s \geq H_n$$

$$10 * 2 + 17 * 1 + h_{20} * 1 \geq 30,7$$

$$H_n = -6,3 \text{ cm}$$

Adotar altura da sub-base igual a 15 cm.

Figura 24 - Perfil das camadas dimensionadas



Fonte: Próprio autor

Espessura do revestimento CBUQ: 12,5 cm

Espessura da camada de base: 20 cm

Espessura da camada de sub-base: 15 cm

O perfil analisado atende as camadas mínimas de dimensionamento, tanto as camadas granulares, quanto o revestimento.

#### 4.4 VERIFICAÇÃO DO PAVIMENTO PELO MÉTODO DA RESILIÊNCIA (TECNAPAV)

##### 4.4.1 Procedimentos preliminares

Inicialmente foi determinado o local a ser estudado, o mesmo utilizado no método dimensionado anteriormente. Foi levado em consideração alguns fatores como: condições de tráfego, condições superficiais do pavimento, estrutura do pavimento e subleito. Para determinar o tráfego, também foi utilizado o mesmo método de fator equivalência usado anteriormente conforme o método do Eng. Murillo Lopes de Souza.

Foram feitos furos para determinar as características do subleito e do pavimento. As amostras coletadas foram levadas para o laboratório da Coceno Construtora para determinar os ensaios de CBR, granulometria e caracterização. Após os ensaios feitos pode-se dizer em qual grupo o solo foi classificado, fazendo uma relação da porcentagem de silte e seu CBR. A tabela 23 apresenta a classificação dos solos.

Tabela 23 - Classificação dos solos

CBR %	SILTE %		
	≤ 35	35 á 45	> 45
≥ 10	I	II	III
6 a 9	I	II	III
2 a 5	I	II	III

Fonte: Adaptado de Manual de restauração de pavimentos asfálticos, 2006.

##### 4.4.2 Dimensionamento do reforço com mistura nova

Foi seguida algumas etapas conforme o Manual de restauração de pavimentos asfálticos para reforçar o pavimento da Rodovia TO-080, no trecho escolhido.

Primeiro foi feito um cálculo para determinar a espessura mínima que o revestimento deveria ter, utilizando a seguinte equação:

$$Hcb = \frac{807,961}{Dp} + 0,972 \times I1 + 4,101 I2 - 5,737$$

Mas antes foi determinado a previsão da deflexão com a equação apresentada abaixo:

$$\text{Log } D_p = 3,148 - 0,188 \text{ Log } N$$

$$\text{Log } D_p = 3,148 - 0,188 \text{ Log } 5,91 \times 10^7$$

$$D_p = 49,0$$

As constantes I1 e I2 são referentes as características resilientes da 3ª camada da estrutura do pavimento. Neste caso a espessura da camada granular foi menor do que 45 cm, ou seja, a camada é do Tipo 1: I1= 0 e I2=0.

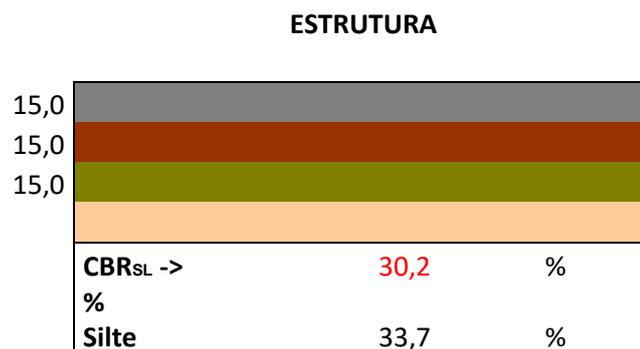
Logo:

$$H_{cb} = ((807,961/49) + (0,972 \times 0) + (4,101 \times 0) - 5,737)$$

$$H_{cb} = 15 \text{ cm}$$

Então conforme a planilha de verificação do dimensionamento pelo método da resiliência (TECNAPAV), as espessuras foram determinadas e obteve o seguinte resultado apresentado na figura 24.

Figura 25 - Espessuras do pavimento dimensionado



Fonte: Planilha TECNAPAV

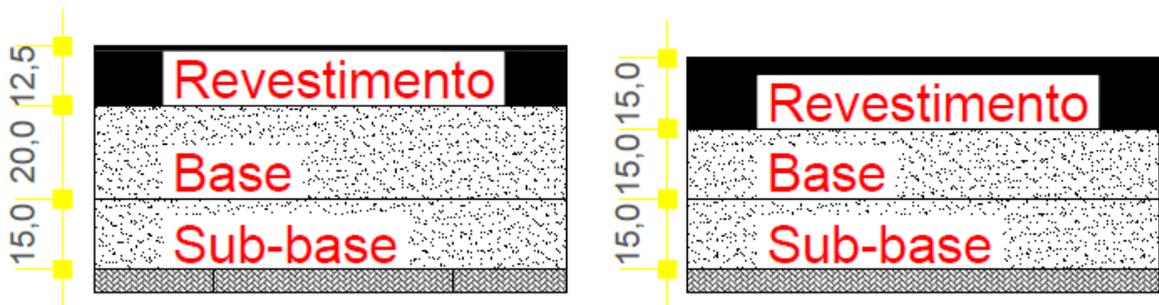
O revestimento obteve uma espessura de 15 cm.

A base e a sub-base respectivamente, obtiveram uma espessura de 10 cm, mas conforme o método utilizado do Eng. Murillo Lopes de Souza, foi adotado uma espessura mínima de 15 cm para ambas.

#### 4.5 Comparação dos resultados

O pavimento dimensionado pelo método empírico do DNER obteve uma espessura total de 47,5 cm, com revestimento de 12,5 cm. E o pavimento dimensionado pelo método mecanístico, obteve uma espessura total de 45 cm, com revestimento de 15 cm. Conforme as estruturas apresentadas abaixo:

Figura 26 - Estruturas dimensionadas pelo método do DNER (esq.) e mecanístico (dir.)



Fonte: Próprio autor

Foi feita uma comparação imediata das estruturas apresentadas dos métodos utilizados neste trabalho, e pode-se notar que o pavimento dimensionado pelo método empírico obteve uma espessura de 5,55% maior do que o método mecanístico. E o método mecanístico obteve uma espessura de revestimento 20% maior do que o método empírico.

Como a espessura do método empírico foi maior, resulta-se em um custo maior para o início da obra e sobrecarrega o valor, visto que é um serviço caro, por se tratar de CBUQ.

Este resultado indica que o método mecanístico do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) seria mais econômico, além do que este método considera as tensões e deformações do pavimento, trazendo mais segurança no dimensionamento.

## 5 CONCLUSÃO

A contagem volumétrica automática de veículos foi realizada e fornecida pela (AGETO), sendo que a última foi realizada no ano de 2017, através desse resultado foi capaz de fazer as possíveis verificações para estudo do número “N”, foi adotada uma vida útil de 15 anos e taxa de crescimento de 3% obteve o valor de  $5,91 \times 10^7$ .

O principal objetivo dessa pesquisa foi fazer uma análise comparativa dos resultados dos métodos de dimensionamentos escolhidos, e avaliar se a capacidade de carga do pavimento da rodovia TO-080 atendia a capacidade atual de veículos, sabendo que a rodovia foi projetada a muito tempo atrás, sendo que foi projetada para um período de 10 anos. As determinações e verificações dos ensaios em campo e laboratório de cada camada foram feitos e obteve resultados positivos, a capacidade de carga para cada camada suporta a atual demanda de tráfego para os próximos 15 anos, sendo que ter que ser feito manutenção periódica e corretiva.

É de suma importância realizar esse tipo de pesquisa, para que possa avaliar as condições atuais do pavimento flexível, tanto da estrutura do pavimento quanto para a superfície, pois os resultados ajudam a decidir qual a melhor solução a ser utilizada para uma possível restauração do pavimento.

Após serem executados todos os ensaios de laboratório e verificado se o solo de cada camada atendia os fatores mínimos de resistência, foi possível realizar o dimensionamento pelo método do DNER e o dimensionamento pelo método mecanístico do DNIT, utilizando a atual demanda de tráfego e os mesmos materiais de carga para as camadas, após ser determinado é concluído que ambos os métodos teria êxito, porém o método mecanístico faz-se uma análise mais completa do pavimento, sendo assim pode ser um caminho melhor a ser utilizado, apesar do método do DNER ser mais simples de se aplicar.

## 6 CRONOGRAMA

Tabela 24 - Cronograma do projeto

ETAPAS	2018											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Escolha do tema	X											
Levantamento bibliográfico para construção do Projeto	X	X	X									
Elaboração do Projeto		X	X	X								
Apresentação do Projeto					X							
Coleta de Dados							X	X	X			
Análise dos Dados								X	X			
Redação do trabalho						X	X	X	X			
Revisão e redação final										X		
Entrega do TCC para Banca										X		
Defesa do TCC em Banca											X	
Correções e adequações sugeridas pela Banca											X	X
Entrega do trabalho final												X

Fonte: Autor (2018).

## 7 ORÇAMENTO

Tabela 25 - Orçamento do projeto

<b>DESPESAS</b>			
<b>Materiais de Consumo e Serviços</b>	<b>Quant.</b>	<b>Valor Unitário</b>	<b>Valor Total</b>
Impressões em folha de papel A4	350 unidades	0,35	122,50
Encadernações	5 unidades	2,50	12,50
Caneta esferográfica preta	2 unidades	2,00	4,00
Combustível	25 litros	4,50	112,50
Cartucho para impressão	1 unidade	60,00	60,00
Aluguel de computador	2,5 meses	220,00	550,00
<b>TOTAL DAS DESPESAS</b>			<b>861,50</b>

Fonte: Autor (2018).

## REFERÊNCIAS

AASHTO. *Guide For Design Of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., U.S.A., 1993.

AASHTO. *Guide For Design Of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., U.S.A., 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6459:2016. Solo – **Determinação do limite de liquidez** – Rio de Janeiro, 2016. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7180:1984. Solo – **Determinação do limite de plasticidade** – Rio de Janeiro, 1984. 3p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7181:1984. Solo – **Análise granulométrica** – Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7182:2016. Solo – **Ensaio de compactação** – Rio de Janeiro, 2016, 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7185:1986. Solo – **Determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia** – Rio de Janeiro, 1986, 7p.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA L. M. G.; CERATTI J. A. P.; SOARES J. B. **Pavimentação Asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. XX f: II.

CASTRO, Bruno Almeida Cunha de, **“CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS E VIAS URBANAS”**. Notas de Aula – Escola de Engenharia - Universidade Federal de Minas Gerais. 2000.

COUTINHO, João Camilo Penna. **Dimensionamento de pavimento asfáltico: comparação do método do DNER com um método mecanístico-empírico aplicada a um trecho.** 2011. 214 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

DAROUS, JOÃO. **Estudo comparativo entre sistemas de cálculo de tensões e deformações utilizados em dimensionamento de pavimentos asfálticos novos.** [Rio de Janeiro] 2003. XV, 290 p., 29,7cm (COPPE/ UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2003.

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação.** - 3 ed. - Rio de Janeiro, 274p. (IPR. Publ., 719). 2006.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas.** DNER-ME 049/94. 14p.

FERNANDES, Wagner Dambrós. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DO BRASIL E O MÉTODO DA AASHTO.** 2014. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

MARQUES, Prof. Geraldo Luciano de Oliveira. **Dimensionamento de Pavimentos – Método do DNER.** Universidade Federal de Juiz de Fora Faculdade de Engenharia – Departamento de Transportes e Geotecnia TRN 032 – Pavimentação – UFJF em notas de aula. 2004.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**, 1ª ed., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 1997.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos Pavimentos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Ufrj, 2005. 288 p.

MOTTA, LAURA MARIA GORETTI DA. **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis; Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas** (Rio de Janeiro), 1991. Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Civil – COPPE/UFRJ.

NETO, Rogério S. Bezerra. **Análise Comparativa de Pavimentos Dimensionados Através dos Métodos Empírico do DNER Mecanístico e Proposta de um Catálogo Simplificado de Pavimentos para a Região de Campo Grande (MS)**. Dissertação de Mestrado. USP – Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 2004.

PEREIRA, Deividi, **Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis introdução ao Método da Resiliência Principais Propriedades Mecânica dos Materiais de Pavimentação**. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM Depto. Transportes Infra-Estrutura de Transportes – Notas de aula em [www.ufsm.br](http://www.ufsm.br). 2008.

PINTO, S. **Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos**. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 1991.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de Pavimentação**. Vol. 1.. São Paulo: Pini, 746 p. 1997.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Método de Projeto de pavimentos flexíveis**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ipr, 1981. 34 p.

SPADA, Jorge Luís Goudene. **MECÂNICA DOS PAVIMENTOS APLICADA AO ENTENDIMENTO DO MECANISMO DE COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DA VIA FÉRREA**. 2003. 251 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

## **APÊNDICE A**

Resultados da análise da estrutura do pavimento (ensaios em campo e laboratório)

## Planilha A1 – Densidade in situ

ENSAIO DE SOLO EM CAMPO			
Densidade in situ NBR (7185)			
Data: 15/09/2018			
Trecho: Rodovia TO - 080 , Palmas - TO sentido Paraíso - TO			
Estudo: Base Amostra 1: Lado direito / Amostra 2: Lado esquerdo			
DENSIDADE IN SITU - FRASCO DE AREIA			
Especificações	Umidade	Amostra 1	Amostra 2
Massa inicial	g	6000,0	6000,0
Massa final	g	3665,0	3647,0
Massa do furo + funil	g	2335,0	2343,0
Funil	Nº	1,0	2,0
Massa da areia no Funil	g	431,0	431,0
Massa da areia no furo	g	2924,0	2941,0
Peso específico aparente da areia	g/cm <sup>3</sup>	2150,0	1419,0
Volume do furo	cm <sup>3</sup>	1360,0	1346,0
Umidade	%	5,2	4,8
Massa do solo úmido	g	3300,0	3238,0
Massa específica aparente seca do solo in situ	g/cm <sup>3</sup>	2044,0	2052,28

## Planilha A2 – Densidade in situ

ENSAIO DE SOLO EM CAMPO			
Densidade in situ NBR (7185)			
Data: 15/09/2018			
Trecho: Rodovia TO - 080 , Palmas - TO sentido Paraíso - TO			
Estudo: Sub-base Amostra 3: Lado direito / Amostra 4: Lado esquerdo			
DENSIDADE IN SITU - FRASCO DE AREIA			
Especificações	Umidade	Amostra 1	Amostra 2
Massa inicial	g	6000,0	6000,0
Massa final	g	3770,0	3820,0
Massa do furo + funil	g	2230,0	2140,0
Funil	Nº	1,0	2,0
Massa da areia no Funil	g	431,0	431,0
Massa da areia no furo	g	2770,0	2710,0
Peso específico aparente da areia	g/cm <sup>3</sup>	2156,0	1520,0
Volume do furo	cm <sup>3</sup>	1285,0	1110,0
Umidade	%	6,0	6,5
Massa do solo úmido	g	3355,0	2956,0
Massa específica aparente seca do solo in situ	g/cm <sup>3</sup>	2034,0	2019,0

## Planilha A3 – Densidade in situ

ENSAIO DE SOLO EM CAMPO			
Densidade in situ NBR (7185)			
Data: 15/09/2018			
Trecho: Rodovia TO - 080 , Palmas – TO sentido Paraíso - TO			
Estudo: Sub-leito Amostra 5: Lado direito / Amostra 6: Lado esquerdo			
DENSIDADE IN SITU - FRASCO DE AREIA			
Especificações	Umidade	Amostra 1	Amostra 2
Massa inicial	g	6000,0	6000,0
Massa final	g	3565,0	3638,0
Massa do furo + funil	g	2435,0	2256,0
Funil	Nº	1,0	2,0
Massa da areia no Funil	g	431,0	431,0
Massa da areia no furo	g	2717,0	2664,0
Peso específico aparente da areia	g/cm <sup>3</sup>	1899,0	1874,0
Volume do furo	cm <sup>3</sup>	1431,0	1421,0
Umidade	%	6,0	5,8
Massa do solo úmido	g	3345,0	3333,0
Massa específica aparente seca do solo in situ	g/cm <sup>3</sup>	1791,0	1755,0

## Planilha A4

Willys Ribeiro Lopes
Material: Base e Sub-base
Lado: Esquerdo
Solo: Cascalho Laterítico

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA											DNER-ME 080/94		
Umidade Higroscópica		Peneiramento Grosso					Para N > 5x10 <sup>6</sup> DNER- ES 303/97						
Cápsula N°		Peneiras		Peso da Amostra Seca g		% que passa Passa	# pol.	Faixa DNIT		Faixa de Trabalho			
		N°	mm	Retido	Passado			% passando					
C+S+A	g		2"	50		1.974,6	100,0	2,0	100,0	100,0	93,0	107,0	
C+S	g		1 1/2	38		1.974,6	100,0	-			-	-	
Á - água	g		1	25	92,0	1.882,6	95,3	1,0	75,0	90,0	88,3	102,3	
C- Cápsula	g		3/4	19	46,4	1.836,2	93,0	-	-	-	-	-	
S- Solo	g		3/8	9,5	128,4	1.707,8	86,5	3/8	40,0	75,0	79,5	93,5	
Umidade	%		4	4,8	527,8	1.180,0	59,8	4	30,0	60,0	54,8	64,8	
Umidade Media%	3,2		10	2,0	389,5	790,5	40,0	10	20,0	45,0	35,0	45,0	
Peso da Amostra Úmida	g	100,0											
Amostra Total Seca	g	96,9											
<b>Peneiramento Fino</b>													
a) Amostra Total Úmida.	g	2.000,0		Peneiras		Amostra seca em gr.		% que Passa		FAIXA	FAIXA DE		
b) Solo seco Ret # N°10.	g	1.184,1		N°	mm	Retido	Passado	Parcial	Total	DNIT	TRABALHO		
c) Solo úmido Pass # N° 10 (a-b).	g	815,9		10	2,0								
d) Solo seco pass # N° 10(c/1+h).	g	790,5		40	0,42	21,7	75,2	77,6	31,1	15,0	30,0	29,1	33,1
e) Amostra Total Seca (b+c).	g	1974,6		200	0,075	18,0	57,2	59,0	23,6	5,0	15,0	21,6	25,6

## Planilha A5

Willys Ribeiro Lopes  
 Material: Base e Sub-base  
 Lado: Esquerdo  
 Solo: Cascalho Laterítico

**COMPACTAÇÃO**

DNER-ME  
 129/94

% Ret #  
 4: **50,1** Proctor: **Intermediario** Golpes: **26** Calculador: **DANIEL** Operador: **Jose Vinicius**

Umidade Higroscópica			
Cápsula	Nº	18	20
C+S+A	g	84,1	86,7
C+S	g	83,0	85,7
A- Água	g	1,1	1,0
C- Cápsula	g	14,1	21,5
S- Solo	g	68,9	64,2
Umidade	%	1,6	1,6
Umidade Media	%	1,6	

Compactação									
Água Adicionada	g	160	280	400	520	640	Peso do Material		
% Água Adicionada	%	2,7	4,7	6,7	8,7	10,7	6000		
Umidade Adicionada	g	0	0	0	0	0	Peso do Material Seco		
Umidade Calculada	%	4,2	6,2	8,2	10,2	12,2	5.906,8		
Molde	Nº	2	15	4	5	11	Nº	Volume	Altura
M+S+A	g	9.150	9.280	9.516	9.558	9.543	2	2,078	114,5
M- Molde	g	4.696	4.789	4.825	4.822	4.827	15	2,078	114,5
S+A	g	4.454	4.491	4.691	4.736	4.716	4	2,078	114,5
Densidade Úmida Kg/m <sup>3</sup>	%	2.143	2.161	2.257	2.279	2.269	5	2,078	114,5
Densidade Convertida Kg/m <sup>3</sup>	%	2.088	2.065	2.116	2.097	2.051	11	2,078	114,5
Densidade seca Kg/m <sup>3</sup>	%	2.056	2.034	2.086	2.067	2.022			

ISC %

EXP %

12,1

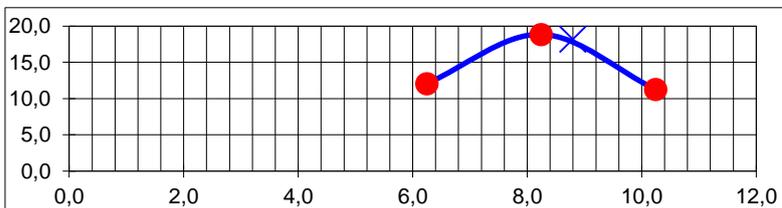
0,00

18,9

0,00

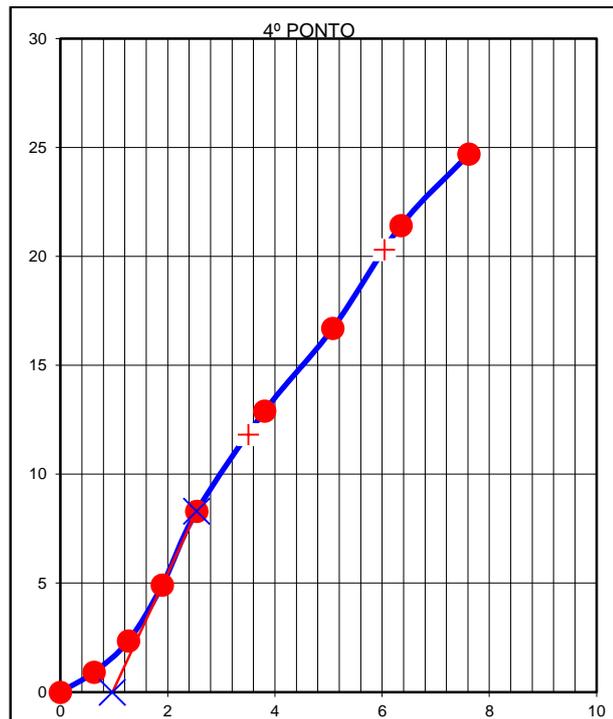
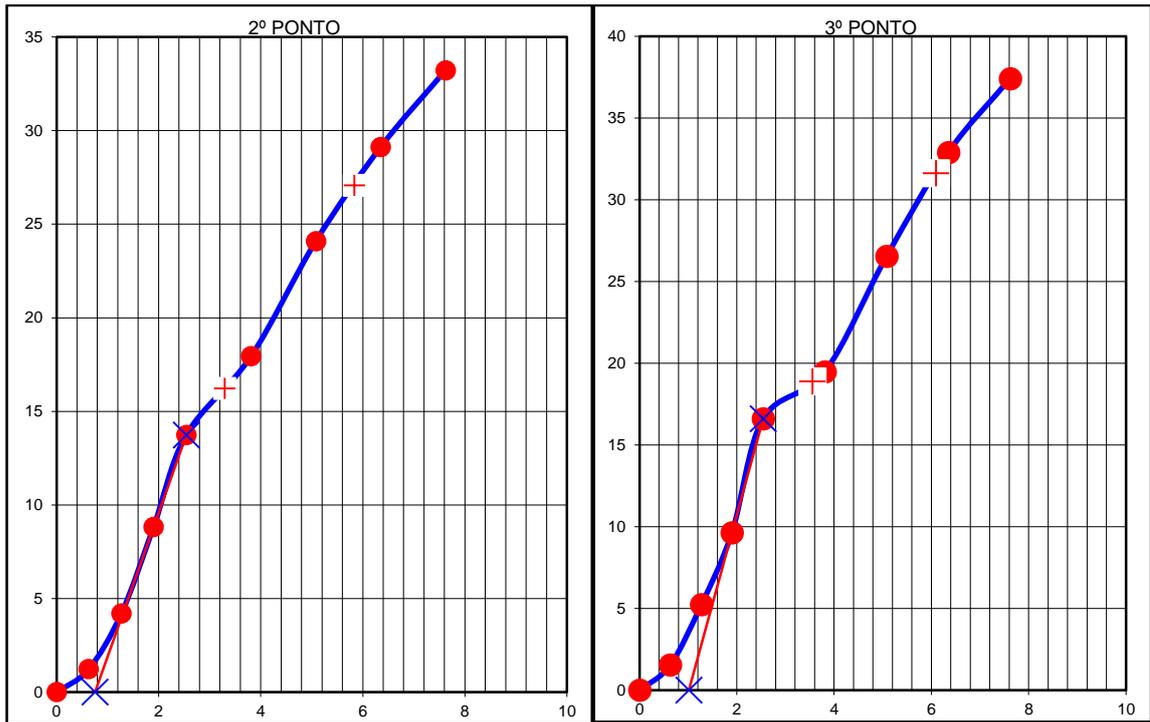
11,3

0,00



## Planilha A6

<b>Material:</b> CASCALHO LAT. ARENOSO						<b>ENSAIO DE EXPANSÃO</b>														
Molde N.º		6				Molde N.º		10												
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%	Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%									
17/9	114,5	9:00	1,00	0,00	0,00	17/9	114,5	9:00	1,00	0,00	0,00									
18/9		9:00		-1,00	0,87	18/9		9:00		-1,00	0,87									
19/9		9:00		-1,00	0,87	19/9		9:00		-1,00	0,87									
20/9		9:00	1,19	0,19	0,17	20/9		9:00	1,11	0,11	0,10									
<b>DNER-ME029-94</b>																				
Molde N.º		2				Molde N.º		10												
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%	Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%									
17/9	114,5	9:00	1,00	0,00	0,00	17/9	114,5	9:00	1,00	0,00	0,00									
18/9		9:00		-1,00	-0,87	18/9		9:00		-1,00	-0,87									
19/9		9:00		-1,00	-0,87	19/9		9:00		-1,00	-0,87									
20/9		9:00	1,24	0,24	0,21	20/9		9:00	1,11	0,11	0,10									
<b>Constante do Anel: 0,1025</b>																				
<b>ENSAIO DE I.S.C.</b>						<b>DNER-ME049-94</b>														
Pen et	Temp	Leitura	Pressão	Pres. Padr	IS C	ISC	Pen et	Temp	Leitura	Pressão	Pres. Padr	IS C	ISC	Pen et	Temp	Leitura	Pressão	Pres. Padr	IS C	ISC
mm	Min	Extens	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Cor	mm	Min	Extens	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Co	mm	Min	Extens	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Co
0,63	0,5	12	1,2				0,63	0,5	15	1,5				0,63	0,5	9	0,9			
1,27	1,0	41	4,2				1,27	1,0	51	5,2				1,27	1,0	23	2,4			
1,90	1,5	86	8,8				1,90	1,5	94	9,6				1,90	1,5	48	4,9			
2,54	2,0	134	13,7	70,31	19,5	23,1	2,54	2,0	162	16,6	70,31	23,6	26,9	2,54	2,0	81	8,3	70,31	11,8	16,8
3,81	3,0	175	17,9				3,81	3,0	190	19,5				3,81	3,0	126	12,9			
5,08	4,0	235	24,1	105,46	22,8	25,7	5,08	4,0	259	26,5	105,46	25,2	30,0	5,08	4,0	163	16,7	105,46	15,8	19,3
6,35	5,0	284	29,1				6,35	5,0	321	32,9				6,35	5,0	209	21,4			
7,62	6,0	324	33,2				7,62	6,0	365	37,4				7,62	6,0	241	24,7			
8,89	7,0						8,89	7,0						8,89	7,0					
10,16	8,0						10,16	8,0						10,16	8,0					
11,43	9,0						11,43	9,0						11,43	9,0					
12,70	10,0						12,70	10,0						12,70	10,0					



## Planilha A7

Willys Ribeiro Lopes
Material: Base e Sub-base
Lado: Direito
Solo: Cascalho Laterítico

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA										DNER-ME 080/94				
Umidade Higroscópica			Peneiramento Grosso					Para N > 5x10 <sup>6</sup> DNER- ES 303/97						
Cápsula N°			Peneiras		Peso da Amostra Seca g		% que passa	#	Faixa DNIT		Faixa de Trabalho			
			N°	mm	Retido	Passado			Passa	pol.	% passando			
C+S+A	g		2"	50		1.976,9	100,0	2,0	100,0	100,0	93,0	107,0		
C+S	g		1	38		1.976,9	100,0	-			-	-		
Á - água	g		1/2											
C- Cápsula	g		1	25	67,0	1.909,9	96,6	1,0	100,0	100,0	89,6	103,6		
S- Solo	g		3/4	19	220,0	1.689,9	85,5	-	96,6	96,6	-	-		
Umidade	%		3/8	9,5	235,0	1.454,9	73,6	3/8	73,6	73,6	66,6	80,6		
Umidade Media%	3,2		4	4,8	465,0	989,9	50,1	4	50,0	50,0	45,1	55,1		
			10	2,0	170,0	819,9	41,5	10	40,0	40,0	36,5	46,5		
Peso da Amostra Úmida	g		100,0											
Amostra Total Seca	g		96,9		<b>Peneiramento Fino</b>									
a) Amostra Total Úmida.	g		2.000,0		Peneiras		Amostra seca em gr.		% que Passa		FAIXA		FAIXA DE	
b) Solo seco Ret # N°10.	g		1.164,0		N°	mm	Retido	Passado	Parcial	Total	DNIT		TRABALHO	
c) Solo úmido Pass # N° 10 (a-b).	g		838,0		10	2,0								
d) Solo seco pass # N° 10(c/1+h).	g		812,9		40	0,42	23,6	73,3	75,6	31,4	15,0	30,0	29,4	33,4
e) Amostra Total Seca (b+c).	g		1976,9		200	0,075	19,0	54,3	56,0	23,2	5,0	15,0	21,2	25,2

## Planilha A8

Willys Ribeiro Lopes
Material: Base e Sub-base
Lado: Direito
Solo: Cascalho Laterítico

**COMPACTAÇÃO**

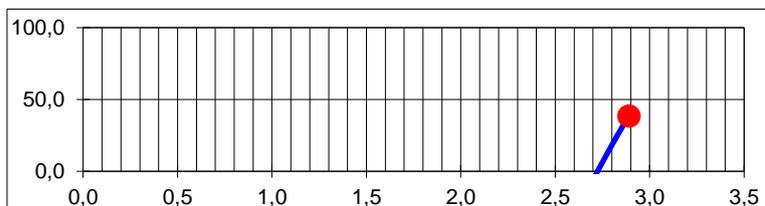
DNER-ME

129/94

% Ret #	4:	50,1	Proctor:	Intermediario	Golpes:	26	Calculador:	DANIEL	Operador:	VIANA
---------	----	------	----------	---------------	---------	----	-------------	--------	-----------	-------

Umidade Higroscópica			
Cápsula	Nº	16	19
C+S+A	g	81,0	82,0
C+S	g	84,0	86,8
A- Água	g	-3,0	-4,8
C- Cápsula	g	13,3	21,1
S- Solo	g	70,7	65,7
Umidade	%	-4,2	-7,3
Umidade Media	%	-5,8	

Compactação										
Água Adicionada	g	160	280	400	520	640	Peso do Material			
% Água Adicionada	%	2,7	4,7	6,7	8,7	10,7	6000			
Umidade Adicionada	g	0	0	0	0	0	Peso do Material Seco			
Umidade Calculada	%	-3,1	-1,1	0,9	2,9	4,9	6.367,8			
Molde	Nº	2	15	4	5	11	Nº	Volume	Altura	
M+S+A	g	9.037	9.297	9.516	9.558	9.543	2	2,078	114,5	
M- Molde	g	4.696	4.789	4.825	4.822	4.827	15	2,078	114,5	
S+A	g	4.341	4.508	4.691	4.736	4.716	4	2,078	114,5	
Densidade Úmida	Kg/m <sup>3</sup>	%	2.089	2.169	2.257	2.279	2.269	5	2,078	114,5
Densidade Convertida	Kg/m <sup>3</sup>	%	2.035	2.073	2.116	2.097	2.051	11	2,078	114,5
Densidade seca	Kg/m <sup>3</sup>	%	2.156	2.194	2.238	2.215	2.164			



ISC %	EXP %
64,6	0,00
49,7	0,00
38,3	0,00

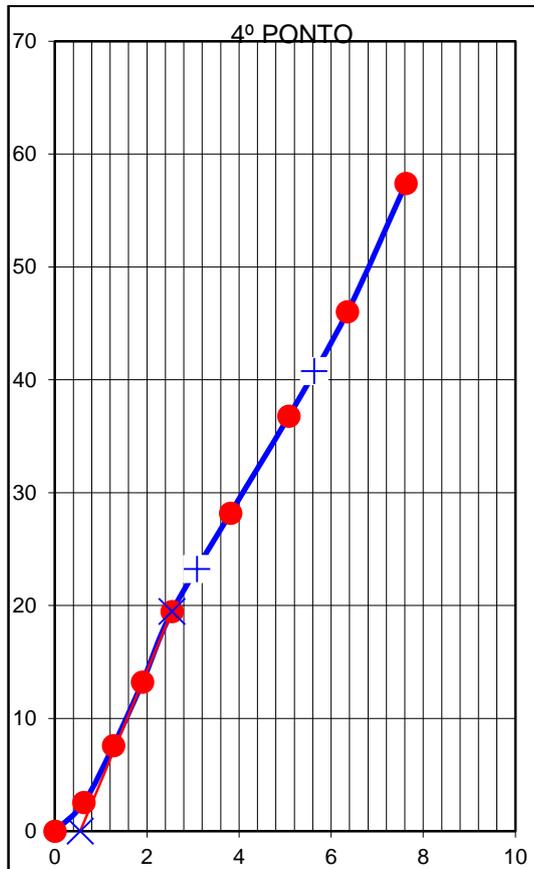
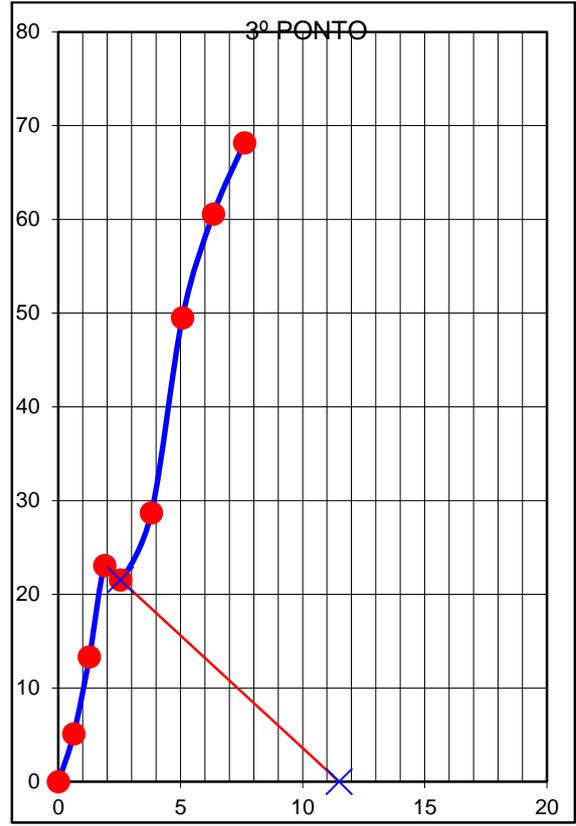
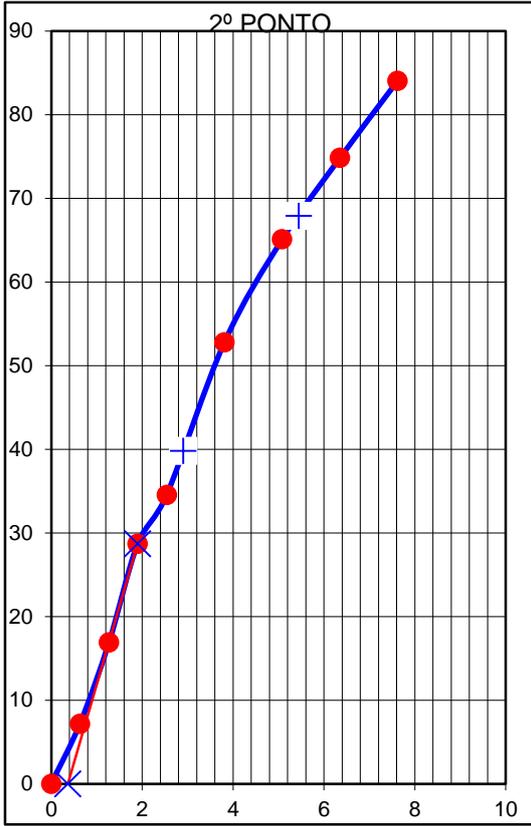
## Planilha A9

<b>Material:</b> 0					
Molde N.º		15			
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%
17/9	114,5	17:37	1,00	0,00	0,00
18/9		17:37		-1,00	0,87
19/9		17:37		-1,00	0,87
20/9		17:37	1,00	0,00	0,00

<b>ENSAIO DE EXPANSÃO</b>					
Molde N.º		4			
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%
17/9	114,5	17:37	1,00	0,00	0,00
18/9		17:37		-1,00	0,87
19/9		17:37		-1,00	0,87
20/9		17:37	1,00	0,00	0,00

<b>DNER-ME029-94</b>					
Molde N.º		5			
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%
17/9	114,5	17:37	1,00	0,00	0,00
18/9		17:37		-1,00	0,87
19/9		17:37		-1,00	0,87
20/9		17:37	1,00	0,00	0,00

<b>Constante do Anel:</b> 0,1025														<b>ENSAIO DE I.S.C.</b>						<b>DNER-ME049-94</b>					
Pen et	Te mp	Leitu ra	Press ão	Pres. Padr	IS C	IS C	Pen et	Te mp	Leitu ra	Press ão	Pres. Padr	IS C	IS C	Pen et	Te mp	Leitu ra	Press ão	Pres. Padr	IS C	IS C					
mm	Min	Exte ns	Kg/c m <sup>2</sup>	Kg/c m <sup>2</sup>	%	Co rr	mm	Min	Exte ns	Kg/c m <sup>2</sup>	Kg/c m <sup>2</sup>	%	Co rr	mm	Min	Exte ns	Kg/c m <sup>2</sup>	Kg/c m <sup>2</sup>	%	Co rr					
0,63	0,5	70	7,2				0,63	0,5	50	5,1				0,63	0,5	25	2,6								
1,27	1,0	165	16,9				1,27	1,0	130	13,3				1,27	1,0	74	7,6								
1,90	1,5	280	28,7				1,90	1,5	225	23,1				1,90	1,5	129	13,2								
2,54	2,0	337	34,5	70,31	49,11	56,6	2,54	2,0	210	21,5	70,31	6	##	2,54	2,0	190	19,5	70,31	27,7	33,0					
3,81	3,0	515	52,8				3,81	3,0	280	28,7				3,81	3,0	275	28,2								
5,08	4,0	635	65,1	105,46	61,7	64,4	5,08	4,0	483	49,5	105,46	46,9	##	5,08	4,0	359	36,8	105,46	34,9	38,7					
6,35	5,0	730	74,8				6,35	5,0	591	60,6				6,35	5,0	449	46,0								
7,62	6,0	820	84,1				7,62	6,0	665	68,2				7,62	6,0	560	57,4								
8,89	7,0						8,89	7,0						8,89	7,0										
10,16	8,0						10,16	8,0						10,16	8,0										
11,43	9,0						11,43	9,0						11,43	9,0										
12,70	10,0						12,70	10,0						12,70	10,0										





## Planilha A11

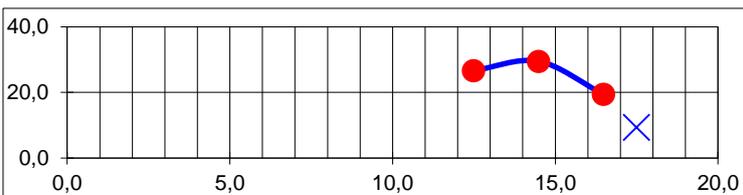
Willys Ribeiro Lopes
Material: Subleito
Lado: Esquerdo
Solo: Cascalho Laterítico

**COMPACTAÇÃO**DNER-ME  
129/94

% Ret #					
4:	43,5	Proctor:	NORMAL	Golpes:	12
		Calculador:		Operador:	

Umidade Higroscópica			
Cápsula	Nº	1	16
C+S+A	g	63,9	70,0
C+S	g	62,9	69,0
A- Água	g	1,0	1,0
C- Cápsula	g	13,5	13,3
S- Solo	g	49,4	55,7
Umidade	%	2,0	1,8
Umidade Media	%	1,9	

Compactação										
Água Adicionada	g	360	480	600	720	840	Peso do Material			
% Água Adicionada	%	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	6000			
Umidade Adicionada	g	0	0	0	0	0	Peso do Material Seco			
Umidade Calculada	%	7,9	9,9	11,9	13,9	15,9	5.887,1			
Molde	Nº	12	6	10	2	15	Nº	Volume	Altura	
M+S+A	g	8.700	8.940	9.100	8.912	9.000	12	2,069	114,0	
M- Molde	g	4.803	4.845	4.849	4.696	4.789	6	2,078	114,5	
S+A	g	3.897	4.095	4.251	4.216	4.211	10	2,078	114,5	
Densidade Úmida	Kg/m <sup>3</sup>	%	1.884	1.971	2.046	2.029	2.026	2	2,078	114,5
Densidade Convertida	Kg/m <sup>3</sup>	%	1.777	1.825	1.860	1.811	1.778	15	2,078	114,5
Densidade seca	Kg/m <sup>3</sup>	%	1.745	1.793	1.828	1.781	1.748			



ISC %	EXP %
25,7	0,17
30,0	0,10
19,3	0,21

## Planilha A12

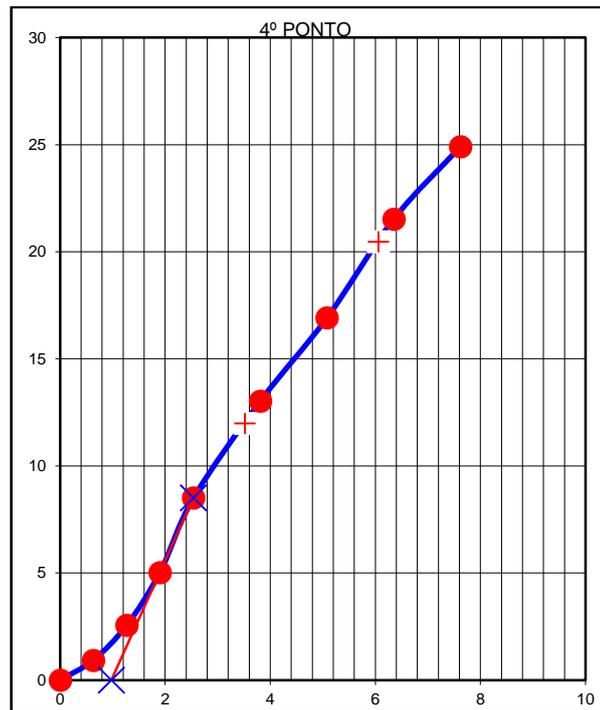
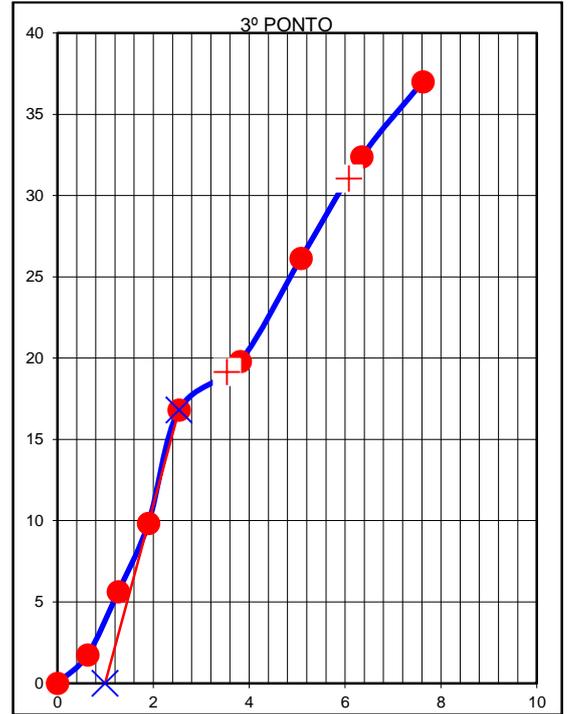
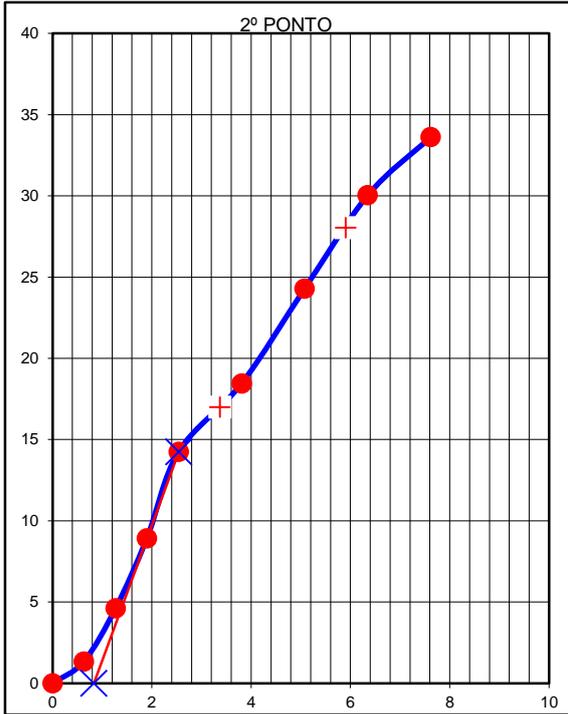
<b>Material:</b> CASCALHO LAT. ARENOSO					
Molde N.º		6			
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%
17/9	114,5	9:00	1,00	0,00	0,00
18/9		9:00		-1,00	0,87
19/9		9:00		-1,00	0,87
20/9		9:00	1,19	0,19	0,17

<b>ENSAIO DE EXPANSÃO</b>					
Molde N.º		10			
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%
17/9	114,5	9:00	1,00	0,00	0,00
18/9		9:00		-1,00	0,87
19/9		9:00		-1,00	0,87
20/9		9:00	1,11	0,11	0,10

## DNER-ME029-94

Molde N.º		2			
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%
17/9	114,5	9:00	1,00	0,00	0,00
18/9		9:00		-1,00	0,87
19/9		9:00		-1,00	0,87
20/9		9:00	1,24	0,24	0,21

<b>Constante do Anel:</b> 0,1025																					
<b>ENSAIO DE I.S.C.</b>											<b>DNER-ME049-94</b>										
Pen et	Te mp	Leitu ra	Press ão	Pres. Padr	IS C	IS C	Pen et	Te mp	Leitu ra	Press ão	Pres. Padr	IS C	IS C	Pen et	Te mp	Leitu ra	Press ão	Pres. Padr	IS C	IS C	
mm	Min	Exte ns	Kg/c m <sup>2</sup>	Kg/c m <sup>2</sup>	%	Co rr	mm	Min	Exte ns	Kg/c m <sup>2</sup>	Kg/c m <sup>2</sup>	%	Co rr	mm	Min	Exte ns	Kg/c m <sup>2</sup>	Kg/c m <sup>2</sup>	%	Co rr	
0,63	0,5	12	1,2				0,63	0,5	15	1,5				0,63	0,5	9	0,9				
1,27	1,0	41	4,2				1,27	1,0	51	5,2				1,27	1,0	23	2,4				
1,90	1,5	86	8,8				1,90	1,5	94	9,6				1,90	1,5	48	4,9				
2,54	2,0	134	13,7	70,31	19,5	23,1	2,54	2,0	162	16,6	70,31	23,69	26,9	2,54	2,0	81	8,3	70,31	11,8	16,8	
3,81	3,0	175	17,9				3,81	3,0	190	19,5				3,81	3,0	126	12,9				
5,08	4,0	235	24,1	105,46	22,8	25,7	5,08	4,0	259	26,5	105,46	25,20	30,0	5,08	4,0	163	16,7	105,46	15,8	19,3	
6,35	5,0	284	29,1				6,35	5,0	321	32,9				6,35	5,0	209	21,4				
7,62	6,0	324	33,2				7,62	6,0	365	37,4				7,62	6,0	241	24,7				
8,89	7,0						8,89	7,0						8,89	7,0						
10,16	8,0						10,16	8,0						10,16	8,0						
11,43	9,0						11,43	9,0						11,43	9,0						
12,70	10,0						12,70	10,0						12,70	10,0						



## Planilha A13

Willys Ribeiro Lopes
Material: Subleito
Lado: Direito
Solo: Cascalho Laterítico

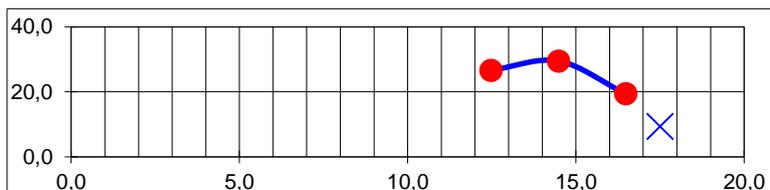
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA											DNER-ME 080/94		
Umidade Higroscópica			Peneiramento Grosso					Para N > 5x10 <sup>6</sup> DNER- ES 303/97					
Cápsula N°			Peneiras		Peso da Amostra Seca		% que passa	#	Faixa DNIT		Faixa de Trabalho		
C+S+A	g		N°	mm	Retido	Passado	Passa	pol.	% passando				
C+S	g		2"	50		1.975,1	100,0	2,0	100,0	100,0	93,0	107,0	
Á - água	g		1 1/2	38		1.975,1	100,0	-			-	-	
C- Cápsula	g		1	25	0,0	1.975,1	100,0	1,0	100,0	100,0	93,0	107,0	
S- Solo	g		3/4	19	18,0	1.957,1	99,1	-	-	-	-	-	
Umidade	%		3/8	9,5	145,0	1.812,1	91,7	3/8	65,0	100,0	84,7	98,7	
Umidade Media%	1,9		4	4,8	280,0	1.532,1	77,6	4	55,0	90,0	72,6	82,6	
			10	2,0	235,0	1.297,1	65,7	10	45,0	75,0	60,7	70,7	
Peso da Amostra Úmida		g	100,0										
Amostra Total Seca		g	98,1		<b>Peneiramento Fino</b>								
a) Amostra Total Úmida.	g	2.000,0		Peneiras		Amostra seca em gr.		% que Passa		FAIXA	FAIXA DE		
b) Solo seco Ret # N°10.	g	678,0		N°	mm	Retido	Passado	Parcial	Total	DNIT	TRABALHO		
c) Solo úmido Pass # N° 10 (a-b).	g	1.322,0		10	2,0								
d) Solo seco pass # N° 10(c/1+h).	g	1297,1		40	0,42	29,5	68,6	69,9	45,9	25,0	45,0	43,9	47,9
e) Amostra Total Seca (b+c).	g	1975,1		200	0,075	24,1	44,5	45,4	29,8	10,0	25,0	27,8	31,8
<b>Limite de Liquidez</b>					DNER-ME 122/94			<b>Limite de Plasticidade</b>			DNER-ME 082/94		
Cápsula N°		1	2	12	4	5	17	7	8	9	10		
C+S+A	g	13,00	14,11	14,00	13,00	13,45	10,70	11,00	11,44	12,11	11,45		
C+S	g	12,50	12,60	13,00	12,35	12,50	11,00	10,77	11,20	11,87	11,29		
Á - água	g	0,50	1,51	0,70	0,65	0,95	-0,30	0,19	0,24	0,24	0,16		
C- Cápsula	g	10,65	10,51	10,98	10,90	10,78	9,99	10,00	10,27	10,91	10,69		
S- Solo	g	1,85	2,09	2,02	1,45	1,72	1,01	0,77	0,93	0,96	0,60		
Umidade	%	27,0	72,2	34,5	44,8	55,2	-29,7	25,4	25,8	25,0	26,7		
N° Golpes		12	20	30	40	50	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM		
Constante	Média				1,029	1,029	Numero de Pontos Aproveitados				4,0		
LL Calculado	%	51,5			46,1	56,8	Limite de Plasticidade Media				25,7		

## Planilha A14

Willys Ribeiro Lopes  
 Material: Base e Sub-base  
 Lado: Direito  
 Solo: Cascalho Laterítico

**COMPACTAÇÃO**DNER-ME  
129/94

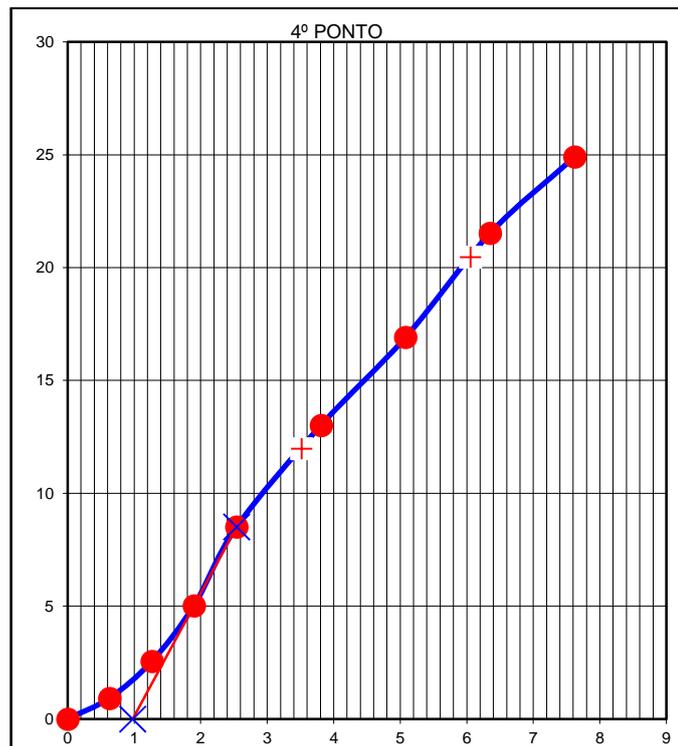
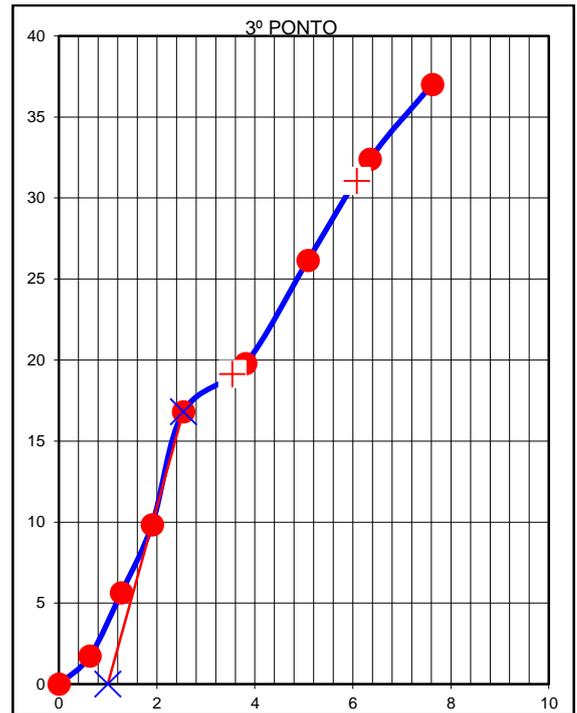
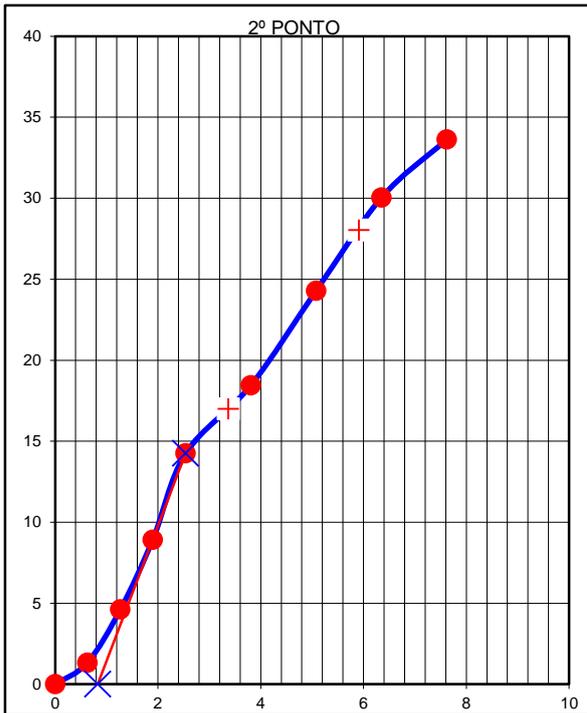
% Ret #		4: 43,5		Proctor: NORMAL	Golpes: 12		Calculador:		Operador:	
<b>Umidade Higroscópica</b>										
Cápsula	Nº	1	16							
C+S+A	g	65,6	75,0							
C+S	g	63,5	71,0							
A- Água	g	1,0	4,0							
C- Cápsula	g	13,5	13,3							
S- Solo	g	50,0	57,7							
Umidade	%	2,0	6,9							
Umidade Média	%	4,5								
<b>Compactação</b>										
Água Adicionada	g	360	480	600	720	840	<b>Peso do Material</b>			
% Água Adicionada	%	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	6000			
Umidade Adicionada	g	0	0	0	0	0	<b>Peso do Material Seco</b>			
Umidade Calculada	%	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5	5.742,8			
Molde	Nº	12	6	10	2	15	Nº	Volume	Altura	
M+S+A	g	8,897	8,980	9,150	8,935	9,030	12	2,069	114,0	
M- Molde	g	4.803	4.845	4.849	4.696	4.789	6	2,078	114,5	
S+A	g	-	-	-	-	-	10	2,078	114,5	
Densidade Úmida	Kg/m <sup>3</sup>	%	2.317	2.327	2.329	2.256	2.300	2	2,078	114,5
Densidade Convertida	Kg/m <sup>3</sup>	%	2.186	2.155	2.117	2.014	2.018	15	2,078	114,5
Densidade seca	Kg/m <sup>3</sup>	%	2.097	2.069	2.035	1.936	1.942			



ISC %	EXP %
25,7	0,17
30,0	0,10
19,3	0,21

## Planilha A15

<b>Materia</b>						<b>ENSAIO DE EXPANSÃO</b>						<b>DNER-ME029-94</b>									
<b>I: CASCALHO LAT. ARENOSO</b>																					
Molde N.º		6						Molde N.º		10						Molde N.º		2			
Da ta	Alt ur	Hor a	Leit ura	Difere nça	%	Da ta	Alt ur	Hor a	Leit ura	Difere nça	%	Da ta	Alt ur	Hor a	Leit ura	Difere nça	%				
17/9	114,5	9:00	1,00	0,00	0,00	17/9	114,5	9:00	1,00	0,00	0,00	17/9	114,5	9:00	1,00	0,00	0,00				
18/9		9:00		-1,00	0,87	18/9		9:00		-1,00	0,87	18/9		9:00		-1,00	0,87				
19/9		9:00		-1,00	0,87	19/9		9:00		-1,00	0,87	19/9		9:00		-1,00	0,87				
20/9		9:00	1,19	0,19	0,17	20/9		9:00	1,11	0,11	0,10	20/9		9:00	1,24	0,24	0,21				
<b>Constante do Anel:</b> 0,1025						<b>ENSAIO DE I.S.C.</b>						<b>DNER-ME049-94</b>									
Pe net	Te mp	Leit ura	Press ão	Pres. Padr	ISC	IS C	Pen et	Te mp	Leit ura	Press ão	Pres. Padr	IS C	IS C	Pen et	Te mp	Leit ura	Press ão	Pres. Padr	IS C	IS C	
m m	Mi n	Exte ns	Kg/c m <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Co rr	m m	Mi n	Exte ns	Kg/c m <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Co rr	m m	Mi n	Exte ns	Kg/c m <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Co rr	
0,63	0,5	13	1,3				0,63	0,5	17	1,7				0,63	0,5	9	0,9				
1,27	1,0	45	4,6				1,27	1,0	55	5,6				1,27	1,0	25	2,6				
1,90	1,5	87	8,9				1,90	1,5	96	9,8				1,90	1,5	49	5,0				
2,54	2,0	139	14,2	70,31	20,3	24,2	2,54	2,0	164	16,8	70,31	23,9	27,2	2,54	2,0	83	8,5	70,31	12,1	17,0	
3,81	3,0	180	18,5				3,81	3,0	193	19,8				3,81	3,0	127	13,0				
5,08	4,0	237	24,3	105,46	23,0	26,6	5,08	4,0	255	26,1	105,46	24,8	29,5	5,08	4,0	165	16,9	105,46	16,0	19,4	
6,35	5,0	293	30,0				6,35	5,0	316	32,4				6,35	5,0	210	21,5				
7,62	6,0	328	33,6				7,62	6,0	361	37,0				7,62	6,0	243	24,9				
8,89	7,0						8,89	7,0						8,89	7,0						
10,16	8,0						10,16	8,0						10,16	8,0						
11,43	9,0						11,43	9,0						11,43	9,0						
12,70	10,0						12,70	10,0						12,70	10,0						



Sinônimo de Condições X [CopySpider] - Recupe... X Fazer Download do Java X CopySpider Scholar | An... X

scholar.copyspider.net/view/showStudyInCS3.php?&cfa=15d386cb540d6ff5b1cd925fd18e60f1a4067783&changeLang=pt\_br

Português Login

Arquivo de entrada: TCC WILLYS.docx (6992 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)	
Visualizar <a href="#">passeidireto.com/arq...</a>	1001	108	1,36	
Visualizar <a href="#">passeidireto.com/arq...</a>	1002	82	1,03	
Visualizar <a href="#">passeidireto.com/arq...</a>	239	19	0,26	
Visualizar <a href="#">en.wikipedia.org/wik...</a>	830	8	0,1	
Visualizar <a href="#">bookstore.transporta...</a>	96	6	0,08	
Visualizar <a href="#">transportation.org/</a>	1607	6	0,06	
Visualizar <a href="#">scribd.com/document/...</a>	338	1	0,01	
Visualizar <a href="#">scribd.com/document/...</a>	316	1	0,01	
-	-	-	-	Download falhou. HTTP response code: 0
-	-	-	-	Download falhou. HTTP response code: 0

to.olx.com.br/imovei...  
habib00ugm.files.wor...

Ativar o Windows  
Acesse Configurações para ativar o Windows.

19:51  
26/04/2018