

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA DIMENSIONAMENTO DE  
PAVIMENTOS COM REVESTIMENTO PRIMÁRIO**

Rosélia Franciela Bertuzzo

Lajeado, junho de 2015

Rosélia Franciela Bertuzzo

## **PROPOSTA DE MÉTODO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM REVESTIMENTO PRIMÁRIO**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos

Lajeado, junho de 2015

Rosélia Franciela Bertuzzo

## **PROPOSTA DE MÉTODO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM REVESTIMENTO PRIMÁRIO**

A Banca examinadora abaixo aprova o Trabalho de Conclusão apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos –  
orientador - Centro Universitário  
UNIVATES

Prof<sup>a</sup>. M.Sc. Emanuele Amanda Gauer  
Centro Universitário UNIVATES

Eng<sup>o</sup>. Civil Luciano Faustino da Silva  
Superint. Regional da 11<sup>a</sup> S. R. DAER -  
Lajeado

Lajeado, junho de 2015

A minha família, em especial aos meus pais, Bruno e Maria Bertuzzo, que são meu exemplo de vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Meu agradecimento a todos aqueles que contribuíram de alguma forma na realização deste trabalho, em especial destaque:

Primeiramente a Deus, pois sem esta força maior, não estaria concluindo esta etapa tão importante em minha vida.

A minha família, meus pais, Bruno e Maria Bertuzzo, que me deram o apoio necessário para nunca pensar em desistir ao longo de minha caminhada acadêmica.

Por último, meu professor orientador João Rodrigo, pelos conhecimentos repassados e principalmente pela sua paciência em querer me ajudar.

## RESUMO

Este trabalho apresenta a sugestão de um método para dimensionamento de estradas com revestimento primário, utilizando conceitos de mecânica dos pavimentos. Sabe-se que as estradas com revestimento primário no Brasil, não apresentam revestimento superficial específico e recebem menor volume de investimentos que as estradas de pavimento flexível. Esta carência, somada à falta de estudos sobre o assunto, resulta em vias, geralmente, com uma série de defeitos e recebendo pouca manutenção. Para o dimensionamento da espessura da camada do revestimento primário, foram adotados parâmetros que simulam uma estrutura e carregamentos com base em princípios da mecânica dos pavimentos. Com o auxílio do *Software* SisPav, foi possível determinar a tensão vertical atuante no topo do subleito e realizar uma análise comparativa com a tensão vertical admissível, tendo em vista os valores do Número N e do módulo de resiliência no subleito. Desta forma, determinou-se qual deve ser a espessura do revestimento primário, de modo a atender este critério de degradação. Trata-se de um estudo que visa reforçar a importância das estradas com revestimento primário e apresentar um método capaz de contribuir para o dimensionamento de futuras obras com melhor desempenho. Para tanto, se propõe um ábaco com o valor da espessura da camada do revestimento primário, correspondente a cada situação, sendo que, na falta de estudos mais específicos, recomenda-se que seja adotado o ábaco referente ao revestimento primário com CBR de 20%.

**Palavras-chave:** Revestimento primário. Mecânica dos pavimentos. Módulo de resiliência. Tensão admissível.

## **ABSTRACT**

This research presents a proposal for a design method of gravel roads, using concepts of pavement mechanics. It is known that gravel roads in Brazil do not have a specific surface layer and receive less investments than flexible pavement roads. This shortage, together with the lack of studies on the subject, usually results in roads with a series of flaws, and little maintenance. For the dimensioning of the gravel surface thickness, were adopted parameters which simulate a structure and loadings, based on the principles pavement mechanics. Using the Software SisPav it was possible to determine the vertical stress at the top of the subgrade and to perform a comparative analysis with the permissible vertical stress, considering the values of traffic volume and Resilient Modulus of the subgrade layer. Through that process was determined what the thickness of the gravel surface should be in order to meet this criterion for degradation. This is a study to reinforce the importance of gravel roads and to present a method to collaborate to the design of future pavement works with better performance. To this end, it proposes an abacus with the value of the thickness for the gravel surface, corresponding to each situation. Wherein the absence of more specific studies it is recommended the abacus corresponding to the gravel surface with a CBR of 20% to be adopted.

**Keywords:** Gravel surface. Pavement Mechanics. Resilient Modulus. Permissible Stress.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Granulometria dos solos .....	25
Figura 2 – Alguns modelos do comportamento tensão-deformação de solos .....	28
Figura 3 – Efeito Poisson num material.....	28
Figura 4 – Condição ideal da plataforma para receber o revestimento .....	33
Figura 5 – Caminhão basculante realizando o despejo do material ao longo da via.	34
Figura 6 – Motoniveladora utilizada no espalhamento do material.....	34
Figura 7 – Teste expedido para verificação do teor de umidade do material.....	35
Figura 8 – Caminhão tanque umedecendo a mistura.....	36
Figura 9 – Rolo compactador .....	37
Figura 10 – Corrugação .....	38
Figura 11 – Poeira em estrada com revestimento primário .....	40
Figura 12 – Buracos preenchidos por água .....	41
Figura 13 – Estrada de revestimento primário com declividade .....	42
Figura 14 – Drenagem inadequada.....	44
Figura 15 – Perda de agregados.....	45
Figura 16 – Trilha de roda .....	46
Figura 17 – Eixo padrão no Brasil .....	53
Figura 18 – Pontos de avaliação entre rodas do semieixo .....	53
Figura 19 – Parâmetros considerados no Revestimento Primário e Subleito .....	55
Figura 20 – Abas principais do SisPav .....	56
Figura 21 – Aba <Estrutura> do programa AEMC .....	57
Figura 22 – Estrutura do carregamento e coordenada de avaliação entre rodas do semieixo .....	58

Figura 23 – Pontos a serem analisados nas colunas x, y e z.....	59
Figura 24 – Valores correspondente à tensão vertical atuante no topo do subleito ..	59
Figura 25 – Ábaco para dimensionamento de pavimentos flexíveis.....	60
Figura 26 - Ábaco para dimensionamento do revestimento primário com MR de 100 MPa.....	63
Figura 27 - Ábaco para dimensionamento do revestimento primário com MR de 200 MPa (CBR de 20%).....	65
Figura 28 - Ábaco para dimensionamento do revestimento primário com MR de 300 MPa (CBR de 30%).....	67
Figura 29 - Ábaco para dimensionamento do revestimento primário com MR de 400 MPa (CBR de 40%).....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos materiais de revestimento primário.....	19
Tabela 2 – Algumas sugestões para camadas de revestimento primário .....	31
Tabela 3 – Escala de classificação .....	49
Tabela 4 – Classificação dos defeitos .....	51
Tabela 5 – Coordenadas (em cm) dos pontos de avaliação entre rodas do semieixo .....	54
Tabela 6 – Espessura do revestimento primário com MR de 100 MPa.....	62
Tabela 7 – Espessura do revestimento primário com MR de 200 MPa.....	64
Tabela 8 – Espessura do revestimento primário com MR de 300 MPa.....	66
Tabela 9 – Espessura do revestimento primário com MR de 400 MPa.....	68

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AASHTO -	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials – Associação Norte-Americana de Especialistas Rodoviários e de Transporte</i>
AEMC -	Análise Elástica de Múltiplas Camadas
CBR -	<i>California Bearing Ratio</i> - Índice de Suporte Califórnia
CNT -	Confederação Nacional do Transporte
DAER -	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
FHWA -	<i>Federal Highway Administration</i>
GPM -	<i>Gravel Paser Manual</i>
IP -	Índice de Plasticidade
MR -	Módulo de Resiliência
N -	Número equivalente de eixo padrão = 8,2 tf
USACE -	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
USFS -	<i>United States Forest Service</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$C_1$ -	CBR dos agregados
$C_2$ -	CBR da fundação
$\varepsilon_r$ -	Deformação elástica ou resiliente
$\varepsilon_p$ -	Deformação permanente
$\varepsilon_{trans}$ -	Deformação perpendicular à deformação
$\varepsilon_{long}$ -	Deformação na direção da solicitação
$K_1$ -	Constante determinada experimentalmente
$K_2$ -	Constante determinada experimentalmente
$K_3$ -	Constante determinada experimentalmente
$K_4$ -	Constante determinada experimentalmente
$K_5$ -	Constante determinada experimentalmente
$P_K$ -	Eixo equivalente
R -	Número de aplicações de carga
RD -	Profundidade de rodeiras na rotura
t -	Espessura do pavimento
$t_p$ -	Pressão dos pneus
$\sigma_d$ -	Tensão desvio
$\sigma_h$ -	Tensão horizontal
$\sigma_v$ -	Tensão vertical
$\sigma_{v adm}$ -	Tensão vertical admissível no topo do subleito
$U$ -	Coefficiente de Poisson

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 Objetivos .....	16
1.2 Justificativa e importância da pesquisa.....	16
1.3 Limitações da pesquisa .....	17
1.4 Descrição da pesquisa.....	17
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1 Condições gerais e características do revestimento primário.....	19
2.2 Materiais.....	21
2.2.1 Disposição em jazidas .....	22
2.2.2 Avaliação dos diferentes materiais.....	23
2.2.3 Solos com ação arenosa .....	23
2.2.4 Solos intermediários .....	23
2.2.5 Solos finos .....	24
2.2.6 Granulometria.....	24
2.2.7 Comportamento resiliente dos materiais .....	25
2.3 Construção de um pavimento com revestimento primário .....	29
2.3.1 Dimensionamento da camada.....	30
2.3.2 Seção transversal.....	32
2.3.3 Plataforma.....	32
2.3.4 Disposição do material .....	33
2.3.5 Espalhamento do material.....	34
2.3.6 Umidade da mistura .....	35

2.3.7 Compactação da camada .....	36
2.4 Principais defeitos e suas respectivas soluções .....	37
2.4.1 Corrugações .....	38
2.4.2 Excessiva poeira .....	39
2.4.3 Buracos .....	40
2.4.4 Seção transversal imprópria .....	42
2.4.5 Drenagem inadequada .....	43
2.4.6 Perda de agregados .....	44
2.4.7 Trilha de roda .....	45
2.5 Manutenção .....	46
2.6 Modelos existentes para o dimensionamento, manutenção e reabilitação .....	47
2.6.1 Brasil .....	48
2.6.2 Europa .....	48
2.6.3 Estados Unidos da América .....	50
<b>3 MÉTODOS EMPREGADOS NA PESQUISA .....</b>	<b>52</b>
3.1 Tráfego .....	52
3.2 Comportamento resiliente .....	54
3.3 Tensão admissível no subleito .....	55
3.4 <i>Software</i> SisPav .....	55
3.5 Análise dos resultados .....	60
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
4.1 Avaliação dos resultados .....	61
4.1.1 Resultados da espessura do revestimento primário para MR de 100 MPa	62
4.1.2 Resultados da espessura do revestimento primário para MR de 200 MPa	63
4.1.3 Resultados da espessura do revestimento primário para MR de 300 MPa	65
4.1.4 Resultados da espessura do revestimento primário para MR de 400 MPa	67
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Considerando a significativa abrangência da malha viária com revestimento primário do Brasil, que segundo dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2014), já alcança aproximadamente 1,7 milhões de quilômetros de extensão, a análise para dimensionar espessuras de camadas de revestimento primário para essas vias são relevantes, considerando o papel que elas desempenham concomitantemente com as rodovias pavimentadas. As estradas com revestimento primário são vias que representam a circulação de bens de consumo (cargas), configurando-as estruturalmente próximas das que recebem as solicitações de tráfego das estradas pavimentadas.

De acordo com a CNT (2014), as estradas com revestimento primário representam aproximadamente 80,33% do total da malha viária nacional e, segundo o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (RIO GRANDE DO SUL, 2014), 29,93% das estradas do Rio Grande do Sul.

Segundo Ferreira (2004), não se faz necessário pavimentar todas as estradas imediatamente, e que ainda nada há de errado com uma bem-construída e bem-mantida via com revestimento primário, desde que as cargas e o volume de tráfego não sejam os mesmos que uma superfície pavimentada.

Para as estradas que possuam volume diário de tráfego de 200 a 300 veículos, segundo Brasil (2005), é economicamente mais vantajoso pavimentá-las ao invés de mantê-las com revestimento primário, pois não se tem jazidas viáveis, do ponto de vista econômico e envolve um custo de operação dos veículos.

Uma estrada com revestimento primário possui uma durabilidade média de 1 a 2 anos. Por conta disto, existe a necessidade da divulgação de técnicas adequadas para a construção e manutenção destas vias, com vista a aumentar a durabilidade das mesmas e a inserção de modelos voltados a avaliar sua vida útil. A partir disto, torna-se possível efetuar uma análise econômica comparativa de uma via com revestimento primário e uma estrada com outro tipo de pavimentação (EATON, GERARD e DATTILO apud NERVIS, 2010, p.20).

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), o revestimento primário com características adequadas é aquele composto por materiais com agregado graúdo, areia e finos. A composição incorreta destes materiais determina o desempenho deficiente do revestimento primário. Quando o material não se mostra na condição ideal, uma ação comum é a inclusão de finos. A inclusão preenche os vazios formados entre os agregados graúdos, favorecendo a estabilidade da mistura e a capacidade de suporte da via.

Os mesmos autores destacam que, dentro desse contexto de melhoria da composição dos materiais utilizados como revestimento primário, as argilas exercem um papel muito importante. Por conta das propriedades aglutinantes, favorecem a cimentação dos agregados, formando uma camada mais compacta e densa, facilitando a redução das perdas de finos na forma de pó.

Segundo Yoder e Witczak (1975), o consumo de material local para a construção de vias com revestimento primário é a regra em vez da exceção. É corriqueiro o emprego de um revestimento primário nessas vias, constituído de solo granular com espessura da ordem de 20 a 30 cm de material solto, resultando em uma espessura de 15 a 25 cm após a compactação.

A compactação aumenta o tempo de conservação do revestimento primário, melhora o comportamento do pavimento, proporcionando maior resistência e redução da deformabilidade (PERAÇA, 2007).

## 1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de um ábaco para dimensionamento de estradas com revestimento primário, utilizando conceitos da mecânica dos pavimentos. Para atingir o objetivo principal, foram definidos os seguintes objetivos secundários:

- ✓ Caracterização do comportamento resiliente de distintos materiais que podem ser empregados na construção de estradas com revestimento primário;
- ✓ Dimensionamento da espessura da camada do revestimento primário, tendo em vista os parâmetros adotados para simulação de uma estrutura e carregamentos;
- ✓ Análise com base em princípios da mecânica dos pavimentos da tensão vertical atuante no topo do subleito, empregando o *software* SisPav, e
- ✓ Comparação da tensão vertical atuante com a tensão vertical admissível para diferentes estruturas com revestimento primário.

## 1.2 Justificativa e importância da pesquisa

As estradas com revestimento primário exercem um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social de um país, porém, não recebem o tratamento que deveriam. É primordial o desenvolvimento de um projeto técnico para a construção da mesma, pesquisa da estrutura de solo, realização de análise da mecânica do pavimento, reparação e manutenção. São estes os aspectos que proporcionam uma redução dos defeitos e uma vida útil maior à estrutura.

Atualmente existem muitos avanços no conhecimento de estradas pavimentadas, no entanto, existem poucos estudos para estradas com revestimento primário. Esta análise comparativa demonstra a importância desta pesquisa e a necessidade de uma opção de método de dimensionamento para estradas com revestimento primário.

Além de estudos técnicos, também é necessário maiores investimentos governamentais, pois estas estradas ligam propriedades rurais a importantes rodovias, favorecendo o escoamento de safras e o recebimento de insumos, garantindo uma parcela da riqueza nacional.

### **1.3 Limitações da pesquisa**

A presente pesquisa possui como grande limitação a consideração de que o módulo de resiliência (MR) apresenta uma correlação com o valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR). Sabe-se que a princípio não poderia ser correlacionado diretamente estes dois parâmetros, pois o MR representa uma característica elástica, enquanto o CBR apresenta uma característica de ruptura do material.

Ainda, não se tratam de dados reais, ou seja, foram criadas diversas situações a serem analisadas sob a ótica de princípios modernos da mecânica dos pavimentos. Além disso, o único mecanismo de degradação estudado será a tensão vertical no subleito, que pode ocasionar a ruptura do mesmo.

### **1.4 Descrição da pesquisa**

Após a Introdução, o Capítulo 2 trata da revisão bibliográfica dos conceitos abordados, trazendo informações sobre estradas com revestimento primário, características, materiais utilizados, execução e espessura da camada de revestimento, principais defeitos, técnicas de reparação e manutenção destas vias.

O Terceiro Capítulo discorre sobre a apresentação do método, explanação sobre o comportamento resiliente dos materiais e definição da estrutura de um pavimento com revestimento primário para posterior análise. No final deste capítulo há uma breve descrição sobre a utilização do *Software* SisPav.

O Capítulo 4 refere-se à apresentação e análise dos resultados, trata do desenvolvimento para um método de dimensionamento de pavimentos com revestimento primário, baseado em princípios da mecânica dos pavimentos.

No Quinto Capítulo, as conclusões obtidas, determinação do ábaco recomendando para o dimensionamento de pavimentos com revestimento primário e as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Condições gerais e características do revestimento primário

Paraná (2005) considera revestimento primário como a camada granular composta por agregados naturais e/ou artificiais, arranjado sobre o subleito compactado e regularizado em rodovias não pavimentadas, com função de garantir boas condições de tráfego, mesmo quando as condições climáticas forem desfavoráveis.

O revestimento primário para Brasil (2005) é uma camada de solo com características apropriadas e capacidade de fornecer uma superfície de rolamento que garanta em qualquer época do ano o tráfego. Segundo o mesmo autor, o material deverá atender algumas características dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dos materiais de revestimento primário

Descrição	Classificação AASHTO	D máx mm	% Passado			IP	Comportamento como revestimento primário
			n. 10	n. 40	n. 200		
			2,0 mm	0,425 mm	0,075 mm		
Cascalho de origem vulcânica	A-2-6	25	49	38	24	17	Bom
Cascalho quartzoso	A-2-4	24	58	45	24	9	Bom
Cascalho laterítico	A-2-4	22	51	42	26	10	Bom

Fonte: Adaptada pela autora com base em Brasil (2005, p. 49).

Para Ferreira (2004), a estrada com revestimento primário é a execução sobre a superfície da terraplenagem de uma camada de material e argila bem misturados e compactados formando uma camada com espessura variável entre 10 á 20 cm de acordo com o tráfego.

Na execução do revestimento primário o material é selecionado, oriundo de jazida, material como sílico-argiloso, cascalho, saibro ou piçarra, que é espalhado em espessura entre 10 cm e 20 cm, sobre a terraplanagem concluída. Recomenda-se que o revestimento seja devidamente compactado e com largura uniforme, conferindo uma maior resistência quanto à ação do tráfego e das intempéries. Observando que a camada de revestimento primário exige cuidados e técnicas mais aperfeiçoadas para sua conservação (BRASIL, 2005).

Segundo São Paulo (2006), é possível utilizar os seguintes materiais como revestimento primário: o saibro, o cascalho, o basalto decomposto, o seixo rolado ou não, o pedregulho, a areia, o material sílico-argiloso, os subprodutos industriais, as escórias ou mistura de qualquer um deles.

Baesso e Gonçalves (2003) relatam que, a maioria das vias em áreas rurais foram desbravadas por colonizadores de maneira imprópria. Pois, em períodos em que há um número expressivo de precipitações, ocorrem os processos erosivos, que são desfavoráveis à pista de rolamento, áreas marginais e em toda a plataforma. Estas vias apresentam um traçado que cruza locais em que o solo possui pouca capacidade de suporte, são caminhos e trilhas evoluídos, estabelecidos por pessoas que se instalaram na região. Com o aumento da trafegabilidade, tornam-se estradas, recebendo melhorias no revestimento e em sua superfície de rolamento. Este revestimento, não recebeu orientação técnica, muito menos segue princípios da engenharia básica.

As estradas com revestimento primário dividem-se em grupos diferentes, conforme o material que a compõe. São quatro categorias, nomeadas como Categoria A, Categoria B, Categoria C e, por último, a Categoria D. As estradas do tipo A são compostas por agregados naturais vindos de jazidas, que atendem aos critérios de granulometria. As do tipo B representam as estradas que possuem na base da superfície de rolamento, materiais produzidos sinteticamente, ou seja,

material britado. As do tipo C possuem na base da superfície de rolamento, solos propriamente consolidados, como saibros, areias e piçarras, vindos de jazidas. Já as do tipo D, os materiais são oriundos do leito natural próprio (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Segundo Keller e Sherar (2003), a camada de revestimento primário deve cumprir duas funções básicas: ter qualidade e espessura suficiente para garantir o suporte estrutural da via para o tráfego e deve ser bem graduada, contendo finos suficientes para prevenir problemas de sulcos e de desagregação.

Para Baesso e Gonçalves (2003), um bom revestimento primário é aquele em que a mistura contém três tipos de agregados: agregado graúdo, areia e finos. No entanto, se tem uma precariedade quanto à qualidade dos materiais, uma prática comum com propósito de melhorar a camada do revestimento é a adição de finos, com o objetivo de promover estabilidade a mistura, preenchendo os vazios que são formados na mistura pelas partículas de maior granulação. A presença de agregados graúdos é essencial para promover a necessária capacidade de suporte, tendo em vista a demanda de veículos. Ainda, a presença de materiais aglutinantes, como as argilas, que produz uma superfície compacta, transmitindo à camada do revestimento primário uma boa densidade. As argilas reduzem as perdas de finos sob a ação repetitiva do tráfego na forma de pó.

## **2.2 Materiais**

Segundo Ferreira (2004), os materiais para a construção e tratamento das estradas com revestimento primário obedecem aos parâmetros em relação aos limites de consistência e outras características em função do clima.

Os materiais utilizados são classificados segundo as dimensões de suas partículas, dentro de limites convencionais em que as frações constituintes dos solos recebem designações muito próprias que se identificam com as aceções usuais dos terrenos (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

### 2.2.1 Disposição em jazidas

É recomendada uma prévia investigação geotécnica nos solos que irão compor as estradas de revestimento primário, para se obter dados referentes às propriedades presentes no material, como por exemplo, o tipo de granulometria e capacidade de suporte. Este conhecimento é de suma importância no momento da execução e manutenção do pavimento (FATTORI, 2007).

Para São Paulo (2006), algumas jazidas do tipo cascalheira de cavas possuem em sua composição proporções satisfatórias de materiais granulares e argila, porém, quando isto não ocorre e houver necessidade de se produzir uma mistura de material granular com material argiloso, a argila deverá representar 20 a 30% da mistura total.

É indicada a utilização de solos dispostos em jazidas próximas às áreas de manutenção e na execução de estradas com baixo volume de tráfego, contribuindo para a redução da distância média de transporte e conseqüentemente minimizando custos. Tais materiais podem ser encontrados de diversas formas, podendo ser destacados, as areias, os cascalhos, os saibros e pedregulhos (FATTORI, 2007).

Baesso e Gonçalves (2003) recomendam que, os processos de escavação em materiais de jazidas e o gerenciamento do estoque de material devem ser planejados. Para tanto destacam:

- ✓ As jazidas devem ser exploradas por completo, ou seja, o máximo possível de material;
- ✓ Caminhões basculantes devem estar à disposição, circulando no local de serviço;
- ✓ O material retirado da jazida deverá ser armazenado em local que não impeça a expansão da extração;
- ✓ Deverá estar de forma separada os materiais de melhor qualidade, caso ocorram mudanças na composição do maciço;
- ✓ O material oriundo da extração deve ser estocado, de modo a

minimizar os efeitos da segregação, e

✓ O pátio deve permitir a extração do material, permitir a entrada e saída de caminhões e a estocagem, sem que haja obstrução de passagem.

### **2.2.2 Avaliação dos diferentes materiais**

A nomenclatura de rochas e solos firma que os solos podem ser identificados pela plasticidade, composição granulométrica, consistência, bem como demais propriedades que possam ajudar no seu reconhecimento (FATTORI, 2007).

Skorseth e Selim (2000) destacam que, a utilização de um pavimento em estradas de revestimento primário compõe três tamanhos distintos de solo: os finos, os intermediários e os graúdos.

Para os mesmos autores, o solo graúdo é composto por pedregulhos, fornecendo uma apreciável capacidade de suporte e apresenta uma boa resistência devido às cargas atribuídas ao pavimento. O equilíbrio da mistura é proporcionado com compostos intermediários, preenchendo os espaços entre a parte graúda. Um exemplo desses materiais são os síltes e as areias. Por fim, os materiais finos são aqueles que promovem coesão à mistura e pouca permeabilidade dos mesmos, pode-se citar como exemplo, as argilas.

### **2.2.3 Solos com ação arenosa**

São materiais como a areia e pedregulho, com granulação grossa e de origem quartzosa. Em função da quantidade de água que circunda em seus grãos, o seu desempenho pouco varia. São solos que não manifestam coesão, portanto sua resistência à deformação submete-se a disposição em que é encontrado e do atrito entre os grãos, quando pressionados (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

### **2.2.4 Solos intermediários**

Sua distribuição granulométrica configura seu comportamento, podendo ser de solo arenoso ou ainda argiloso, ou seja, um sílte-arenoso ou sílte-argiloso. O sílte

apresenta certas características como: complicada moldagem e quando seco apresenta baixa resistência (FATTORI, 2007).

### **2.2.5 Solos finos**

Devido a dimensões muito pequenas de suas partículas, o comportamento geral das argilas varia sensivelmente em função da quantidade de água que envolve seus grãos. A coesão das argilas se dá em função do teor de umidade, pois quanto mais secas, maior será a coesão. Mas, ao entrar em contato com a água, poderá sofrer grandes deformações. Assim, em locais com material argiloso e de elevadas precipitações, é necessário fazer a adição de materiais granulares para melhoramento da trafegabilidade da estrada (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

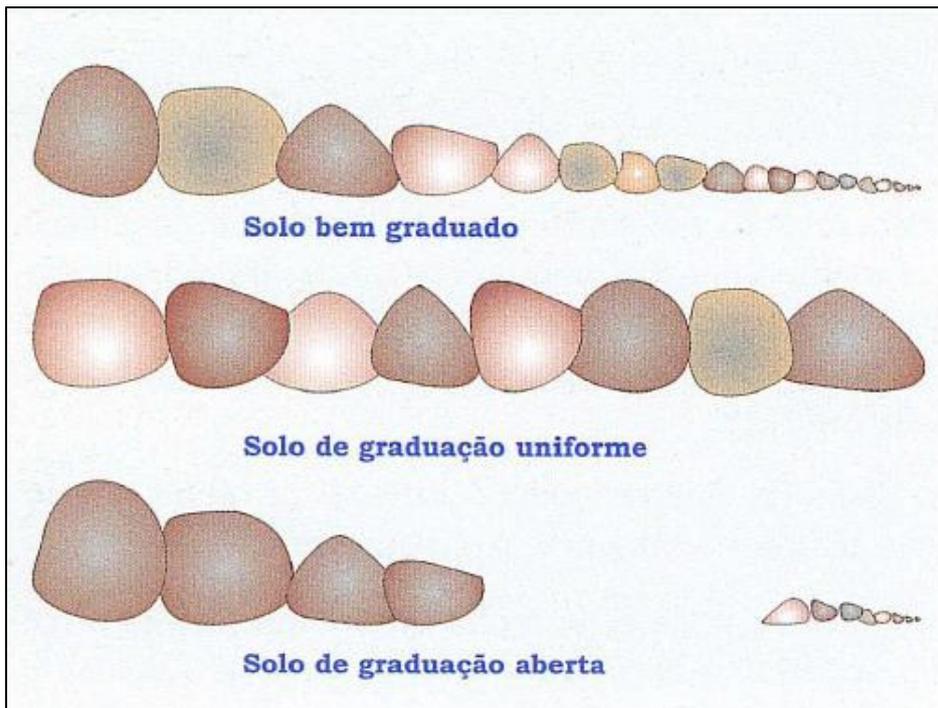
Segundo Fattori (2007), são solos que apresentam uma granulometria fina, por exemplo, as argilas, e por conta de sua pequena dimensão sua reação varia conforme a quantidade de água que cerca seus grãos. Desta forma, em determinada faixa de teor de umidade, suas características plásticas permitem que o material seja moldado sob a ação de um esforço sem variação do volume.

### **2.2.6 Granulometria**

Skorseth e Selim (2000) sugerem em proporções, que um solo bem graduado é aquele composto por grãos, intermediários e finos. Porém, os solos naturais são aqueles que apresentam composições granulométricas variadas. Um exemplo é a graduação uniforme e a graduação aberta. Os solos de graduação uniforme são aqueles grãos que possuem dimensões muito parecidas. Aqueles com graduação aberta apresentam distribuição de diâmetros bem variada, mas com falta de uma parcela de grãos de certa dimensão. É possível visualizar na Figura 1, a diferenciação dos solos de acordo com sua graduação.

Quando os agregados não apresentarem as características desejadas, torna-se necessário estabilizar a granulometria desses materiais com a adição de outros agregados, para manter a mistura estável, podendo ser utilizada, por exemplo, para execução dos serviços de revestimento primário (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Figura 1 – Granulometria dos solos



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, p. 20).

Segundo Fattori (2007), os materiais possuem uma granulometria de relevante importância, mas existe a possibilidade destes solos disponíveis em jazidas não apresentarem uma correta distribuição granulométrica. Contudo, nestes casos, os materiais utilizados para fins de revestimento primário, devem receber ajustes.

### 2.2.7 Comportamento resiliente dos materiais

Segundo Medina e Motta (2005), resiliência é a energia que fica armazenada num corpo deformando elasticamente, devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações. É a energia potencial de deformação.

As deformações resilientes, conforme Brasil (2006) são deformações elásticas, ou seja, recuperáveis. Os materiais utilizados para um pavimento tem um comportamento não linear, depende do tempo e da história das tensões. Quando um determinado solo, como a areia ou pedregulho é submetido a um carregamento repetitivo, nos primeiros ciclos grandes deformações ocorrem, por conta dos movimentos entre as partículas, ou fratura das mesmas nos pontos de contatos.

Como consequências das repetições dos carregamentos, o material adquire rigidez e as deformações permanentes ao final de cada ciclo de carga aplicada, se tornam nulas ou muito pequenas. A partir daí, o solo apresenta um arranjo estável de partículas e um comportamento quase elástico, ou seja, no sentido em que todo carregamento aplicado é recuperável quando retirado.

A norma de ensaio *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) T 307-99, utiliza duas sequências de tensões diferentes para determinação do módulo de resiliência dos materiais. As de Tipo 1 são destinadas aos materiais com camadas de bases e sub-bases e os de subleito granular. As de Tipo 2, os solos de subleito, devem ser ensaiadas com a aplicação de uma sequência de tensões, ainda devem ser condicionados com a aplicação de 500 a 1000 ciclos do par de tensões com tensão confinante de 41,4 KPa e tensão desvio de 27,6 KPa (MEDINA e MOTTA, 2005).

Segundo os mesmos autores, imaginando determinada camada ou subleito ou uma estrutura composta de várias camadas constituídas de solos, materiais pétreos ou misturas submetidas a carregamentos verticais ou axiais de forma replicada, para cada aplicação de carregamento irão sofrer uma deformação axial total, a qual é formada por uma parcela de deformação elástica ou resiliente ( $\varepsilon_r$ ) e por uma parcela pequena de deformação permanente ( $\varepsilon_p$ ).

Theisen (2011) relata que, a teoria clássica da elasticidade é empregada para a obtenção do módulo de resiliência (MR) com base nos dados obtidos a partir de experimentos ou de bacias deflectométricas levantadas em campo. Pode-se determinar o MR pelo ensaio de cargas repetidas, um dos ensaios é o de compressão triaxial.

O estado de tensões num elemento do subleito varia com a posição da carga (MEDINA e MOTTA, 2005). Quando a carga esta verticalmente acima do elemento tem-se as tensões normais principais, horizontal ( $\sigma_3 = \sigma_h$ ) e vertical ( $\sigma_1 = \sigma_v$ ).

O ensaio triaxial é feito, usualmente, a tensão confinante,  $\sigma_3$ , constante, e  $\sigma_1$  variável, conforme equação número “1”:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d \quad (1)$$

Onde a  $\sigma_d$  é a tensão desvio variável.

O módulo de deformação resiliente é determinado pela equação número “2”:

$$MR = \sigma_d / \varepsilon_r \quad (2)$$

Onde MR = módulo resiliente;

$\sigma_d$  = tensão desvio aplicada repetidamente, e

$\varepsilon_r$  = deformação específica axial resiliente correspondente a um número particular de repetições da tensão-desvio.

Em estudos sobre o comportamento resiliente de solos como a areia e pedregulhos, onde estão submetidos a tensões axiais repetidas, há um aumento no valor do módulo de resiliência devido à pressão confinante e é pouco atingido pelo valor da tensão desvio repetida, ainda, esta tensão não deve causar excessiva deformação plásticas (BRASIL, 2006).

Há uma relação muito utilizada, para encontrar o módulo de resiliência (MR), conforme equação número “3”:

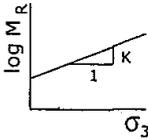
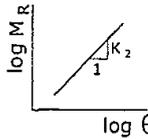
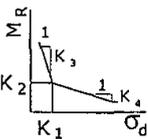
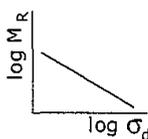
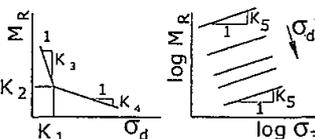
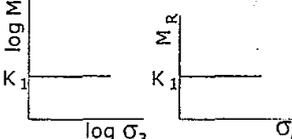
$$MR = K_1 \cdot \sigma_3^{K_2} \cdot \sigma_d^{K_3} \quad (3)$$

Onde  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_3$  são constantes determinadas experimentalmente, e

$\sigma_d$  = tensão desvio.

Quando fixando para cada solo a umidade, a densidade, o estado de tensões aplicado e as características de ensaio, o módulo de resiliência poderá ser expresso como uma função do estado de tensões através de moldagem matemática. Na Figura 2, temos os primeiros modelos observados no Brasil do comportamento tensão-deformação de solos.

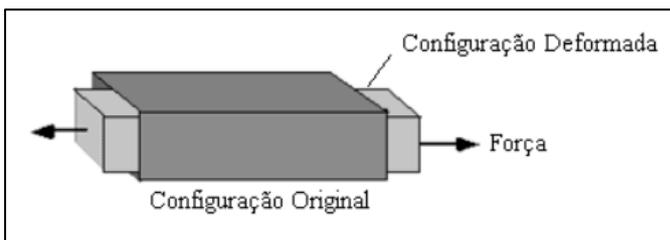
Figura 2 – Alguns modelos do comportamento tensão-deformação de solos

MODELO	EQUAÇÃO	MODELO	EQUAÇÃO
<p><b>arenoso</b></p> 	$M_R = K_1 \sigma_3^{K_2}$	<p><b>areno-argiloso</b></p> 	$M_R = K_1 \theta^{K_2}$ $K_2 > 0$
<p><b>argiloso</b></p> 	$M_R = K_2 + K_3 (K_1 - \sigma_d)$ $\sigma_d < K_1$ $M_R = K_2 + K_4 (\sigma_d - K_1)$ $\sigma_d > K_1$	<p><b>areno-argiloso</b></p> 	$M_R = K_1 \sigma_d^{K_2}$ $K_2 < 0$
<p><b>combinado</b></p> 	$M_1 = K_2 + K_3 (K_1 - \sigma_d)$ $\sigma_d < K_1$ $M_1 = K_2 + K_4 (\sigma_d - K_1)$ $\sigma_d > K_1$ $M_R = M_1 \sigma_3^{K_5}$	<p><b>constante</b></p> 	$M_R = K_1 = \text{constante}$

Fonte: Medina e Motta (2005, p. 232).

Além do módulo de resiliência, para a análise de uma estrutura, se faz necessário saber o coeficiente de Poisson ( $\nu$ ). Segundo Theisen (2011), o coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) é a avaliação do efeito Poisson dos materiais. No momento em que um cubo de um material é tracionado ou comprimido em uma determinada direção, o mesmo tende a contrair ou expandir nas outras duas direções da tração ou compressão aplicada. Na Figura 3 é possível visualizar o efeito Poisson.

Figura 3 – Efeito Poisson num material



Fonte: Theisen (2011, pg. 11).

O mesmo autor discorre que, o efeito Poisson é a razão quando uma amostra é tracionada ou comprimida, da deformação transversal ou da contração, de forma perpendicular à sollicitação e da extensão ou deformação axial, que ocorre na direção da sollicitação. O coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) é determinado a partir da equação número “4”.

$$\nu = - \frac{\varepsilon_{trans}}{\varepsilon_{long}} \quad (4)$$

Onde  $\varepsilon_{trans}$  = deformação perpendicular à deformação, e

$\varepsilon_{long}$  = deformação na direção da sollicitação.

Normalmente as deformações possuem sentidos opostos, ou seja, sinais diferentes. Tal acontecimento ocorre na maioria dos materiais, pois o módulo de resiliência (MR) torna-se positivo.

### 2.3 Construção de um pavimento com revestimento primário

Um pavimento que possui características adequadas de suporte do tráfego é aquele que prioriza o momento da execução. Para tanto, devem ser observados os procedimentos, pois erros de execução proporcionam imperfeições, necessitando a realização de serviços de manutenção antes do esperado. Para esta operação são necessários equipamentos mínimos, podendo ser destacados os seguintes: pá carregadeira de pneus, trator com esteiras, uso de motoniveladora, disponibilidade de caminhões basculantes, veículos leves de apoio, rolos compactadores e caminhão pipa (FATTORI, 2007).

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), anterior à recomposição do revestimento primário, deve-se realizar reparos ou melhorias nos sistemas de declividade da seção transversal e de drenagem. O revestimento primário é executado sobre o subleito já conformado e compactado, livre de sulcos e depressões.

Ainda os mesmos autores ressaltam que, se possível, o tráfego deve ser desviado para outras rotas existentes. Deve-se previamente sinalizar o local de

modo a garantir a segurança dos operários e dos usuários da estrada.

Os serviços de execução da camada do revestimento primário, conforme Fattori (2007) devem ser executados de forma rápida, causando mínimos transtornos ao tráfego, seguindo as seguintes precauções: conferência da situação do lote de equipamentos necessários para a execução do revestimento, prévia seleção do material de jazidas, abastecimento geral, envolvendo checagem e disposição de graxa, água, óleo para caminhões e equipamentos e por fim, providências visando dotar os envolvidos nas atividades de acomodações próximas ao canteiro de serviços, caso os mesmos estendam-se por mais de um dia.

Normalmente, a preocupação maior na execução de estradas com revestimento primário é garantir que a camada de material selecionado seja o suficiente para proteger a fundação de deformações ocasionadas pelo tráfego. A camada de revestimento primário deverá apresentar características estruturais e funcionais, ou seja, a estrutura deve suportar o tráfego em condições de segurança, economia e conforto. É fundamental analisar a estrutura do pavimento, o comportamento mecânico dos materiais, para que não ocorram danos em fase precoce (SANTOS, 2013).

### **2.3.1 Dimensionamento da camada**

Em estradas com revestimentos primários, para o dimensionamento da camada são avaliados os seguintes critérios: as características do solo que compõe o subleito, direcionadas a sua capacidade de suporte, o tipo e o volume de tráfego e com relação aos trechos que apresentam nítida declividade (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Segundo Fattori (2007), existem diferentes tipos de solos, que por sua vez, influenciam na espessura da camada do revestimento, podendo variar, porém, a literatura rodoviária no país é falha, não assegura dados confiáveis para o atendimento de diferentes estradas.

Podem-se observar na Tabela 2, as espessuras mínimas das camadas de revestimento primário.

Tabela 2 – Algumas sugestões para camadas de revestimento primário

<b>Estimativa diária do número de veículos pesados</b>	<b>Condição de suporte do subleito<sup>1</sup></b>	<b>Sugestão da espessura mínima (cm)</b>
0 a 5	Baixo	16,5
	Médio	14,0
	Alto	11,5
5 a 10	Baixo	21,5
	Médio	18,0
	Alto	14,0
10 a 25	Baixo	29,0
	Médio	18,0
	Alto	13,0
25 a 50	Baixo	37,0
	Médio	29,0
	Alto	21,5

Notas: <sup>1</sup> Baixo suporte: CBR  $\leq$  3 % ;

Médio suporte: 3 < CBR  $\leq$  10 %;

Alto suporte: CBR > 10 %

Fonte: Skorseth e Selim (2000, p. A11).

A determinação da espessura da camada de revestimento primário está associada ao tempo que o material aguentará sem que seja repostado um material novo; quantidade de perda de material ao longo deste período; avaliação das características do material e a espessura mínima que garanta a capacidade de suporte. A mínima espessura recomendada para a camada compactada é de 100 mm, enquanto a espessura máxima recomendada é de 200 mm (DOT apud SANTOS, 2013, pg. 10).

Para São Paulo (2006), o material utilizado para o revestimento primário deve possuir Índice de Suporte Califórnia (CBR) igual ou superior a 20% e a espessura da camada após a compactação, não deverá ser inferior a 10 cm.

### **2.3.2 Seção transversal**

Baesso e Gonçalves (2003) relatam que, para o melhoramento da trafegabilidade em estradas com revestimento primário é primordial ter um correto desenho da pista de rolamento, no que se reporta à forma final de sua seção transversal.

Segundo os mesmos autores, quando a pista de rolamento apresentar inclinações abaixo do ideal, ocorrerão problemas de durabilidade e trafegabilidade da estrada, como depressões e irregularidades. No momento da utilização da motoniveladora, o operador deverá estabelecer uma declividade acima daquela considerada ideal, caso contrário o usuário sentirá desconforto.

Desta forma, se a pista de rolamento estiver exercendo seu papel de maneira correta, com uma inclinação ideal, em que deve permitir uma trafegabilidade segura, bem como resguardar a plataforma quanto à sua deterioração, devido à má drenagem que uma rampa pouco inclinada favorece. No Brasil, sugere-se que a declividade seja favorecida em forma de porcentagem (FATTORI, 2007).

Com a preocupação de oferecer melhores condições de conforto e segurança, segundo Skorseth e Selim (2000), é utilizado o conceito de superelevação da pista de rolamento. Trata-se da declividade transversal da pista nos trechos em curva. Este sistema possui a finalidade de reduzir ou até mesmo eliminar os efeitos de desconforto.

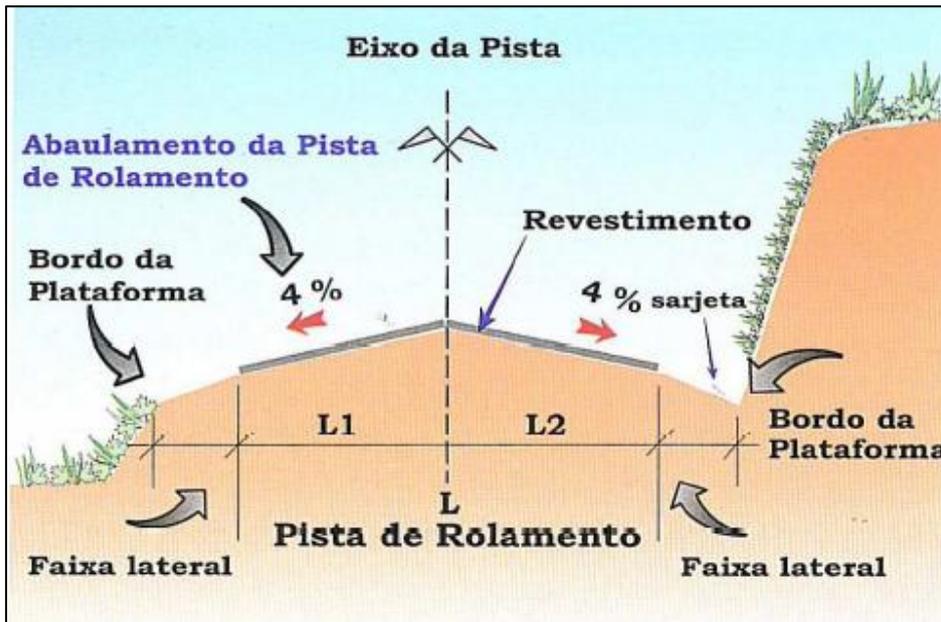
### **2.3.3 Plataforma**

Compreende a reestabilização da condição transversal ideal para a pista de rolamento, onde a declividade do eixo deve ser de 4% a partir do central da estrada para os bordos. Já as faixas laterais devem possuir uma pequena declividade, superior à da pista de rolamento, ajudando assim na drenagem das águas. A eficiência do escoamento depende ainda da forma correta do preparo da plataforma (FATTORI, 2007).

É possível visualizar na Figura 4, como deve ser a plataforma para o

recebimento do revestimento primário.

Figura 4 – Condição ideal da plataforma para receber o revestimento



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003).

No momento em que as sarjetas forem reconformadas, Baesso e Gonçalves (2003) descrevem que, é necessário ter um cuidado especial, isto em casos de irregularidades ou materiais sedimentados em sua seção de vazão. Este trabalho pode ser facilmente realizado com o auxílio do bico da lâmina da motoniveladora. Em pontos frágeis no subleito é recomendada atenção redobrada, pois é possível em certos casos realizar a remoção e substituição de materiais com baixa capacidade de suporte dos materiais por solos de melhor qualidade, ou ainda a previsão de camadas de revestimento mais robustas para tais áreas.

#### 2.3.4 Disposição do material

Baesso e Gonçalves (2003) recomendam que quando existir a presença maciça de agregados graúdos na mistura, deve-se realizar a escarificação branda do leito da pista.

Todo o material utilizado para o revestimento primário deve ser depositado na área central da pista ou nos bordos, conforme a largura da plataforma, de acordo com a Figura 5, onde posteriormente ocorrerá seu espalhamento.

Figura 5 – Caminhão basculante realizando o despejo do material ao longo da via



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003).

### 2.3.5 Espalhamento do material

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), com o depósito do material para revestimento o passo seguinte é seu espalhamento, de forma homogênea sobre a pista, e ainda, retirar as pedras de porte indesejável ou algum outro material estranho. O espalhamento do material deve iniciar no trecho em que sua extensão atinja no mínimo 200 metros de material depositado, e deve ser realizado em toda largura da pista, com a motoniveladora (FIGURA 6).

Figura 6 – Motoniveladora utilizada no espalhamento do material



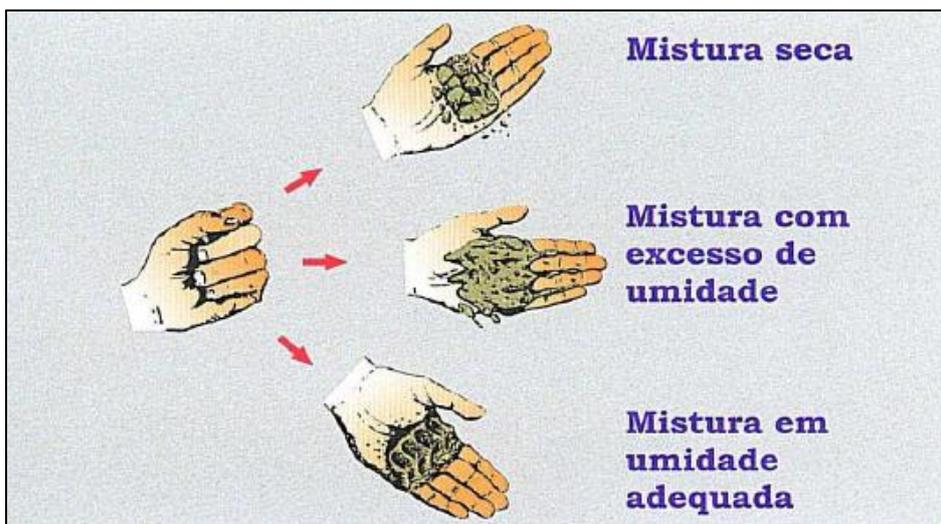
Fonte: Autora (2015).

Se houver a necessidade, é possível realizar conjuntamente a esse processo, a irrigação do material por um caminhão tanque. Isso porque há uma necessidade de se obter um teor de umidade adequado para a compactação.

### 2.3.6 Umidade da mistura

Para saber como está a umidade de mistura, é realizado o teste expedito (FIGURA 7), que segue os seguintes passos: Primeiramente, com uma porção de material, realizar o fechamento dos dedos, exercendo uma leve pressão na palma das mãos por alguns segundos. Quando aberta a mão, a mistura tende a se desmanchar, a mesma é caracterizada como seca, caso contrário, se a mistura apresentar característica lamacenta encontra-se muito úmida e ainda, quando a mistura apresentar a marca dos dedos, isto indica que o material está em condições ideais quanto ao teor de umidade (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Figura 7 – Teste expedito para verificação do teor de umidade do material



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003).

Segundo Fattori (2007), quando necessitar o umedecimento do material, o caminhão pipa poderá lançar água, conforme Figura 8. Para a redução do teor de umidade da mistura através do revolvimento, pode ser utilizado o escarificador da motoniveladora, ou ainda por uma grade de discos, estando ao alcance. Na sequência, a declividade transversal da pista deve ser verificada, caso a mesma não alcance 4%, deve ser repetida a regularização.

Figura 8 – Caminhão tanque umedecendo a mistura



Fonte: Skorseth e Selim (2000).

Com níveis desejados de declividade, o último passo da operação de execução do revestimento primário pode ser iniciado: a compactação.

### 2.3.7 Compactação da camada

Depois que o material for espalhado na pista, deverá receber os serviços de compactação. Em caso de curvas, o material é compactado no sentido do bordo interno para o bordo externo da pista. O material deverá estar devidamente compactado, sendo feito por máquina adequada, passando quantas vezes forem necessárias para que a estrada apresente boa característica de trafegabilidade. (FATTORI, 2007).

Conforme os autores Baesso e Gonçalves (2003), as estradas com revestimento primário, gerenciadas pelo órgão municipal, considerando limitações de ordem operacional, como de equipamentos de controle de serviço de compactação e de pessoas, deverá ser aplicado controles expeditos conjugados com a experiência do pessoal de campo.

A Figura 9 ilustra o rolo compactador, utilizado para os serviços de compactação.

Figura 9 – Rolo compactador



Fonte: Autora (2015).

No momento da compactação do material não deverá ser irrigado, pois poderá o solo ficar aderido ao rolo compressor.

Segundo Fattori (2007), quando os serviços forem de relevante porte, é recomendado teste de compactação em alguns trechos, conseqüentemente otimizando o tempo e gerando economia. O teste segue os seguintes procedimentos: primeiramente com a superfície compactada é realizado o teste de passagem em baixa velocidade, com caminhões basculantes carregados, prosseguindo, a compactação somente receberá a aprovação, se o pavimento resistir aos esforços gerados, sem apresentar deformações na pista. O não atendimento acarretará na continuidade da compactação, devendo ainda realizar novos testes.

#### **2.4 Principais defeitos e suas respectivas soluções**

Santos (2003) relata que, as estradas com revestimento primário estão mais suscetíveis a fatores externos, como as condições de clima e de tráfego. São fatores que acompanhados com a escolha do tipo de material, o sistema de drenagem e a geometria da estrada, afetam as condições de circulação.

Os defeitos influenciam de forma negativa as condições de rolamento de uma

estrada com revestimento primário. De acordo com Ferreira (2004), uma boa estrada deve possuir uma largura suficiente para acomodar o tráfego, suportar as cargas das rodas dos veículos e as mudanças do clima.

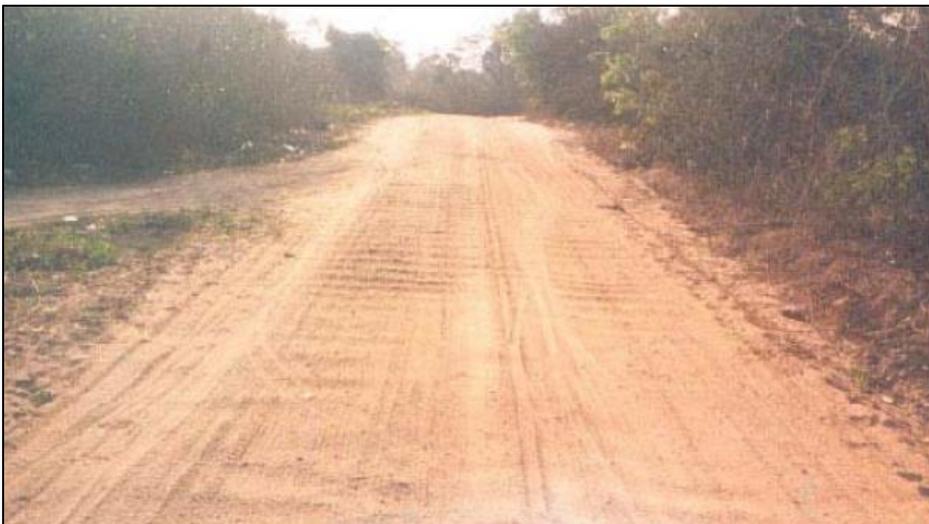
Existem vários problemas na estrutura de estradas com revestimento primário, que acarretam no aumento do tempo de viagem e depreciação dos veículos. Os defeitos e patologias que mais se manifestam são as corrugações, excessiva poeira, buracos, seção transversal imprópria, drenagem inadequada, perda de agregados e trilha de roda (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

#### **2.4.1 Corrugações**

Segundo Oliveira (2008), as corrugações são conhecidas como costela-de-vaca, perpendicularmente ao sentido de fluxo do tráfego e em intervalos regulares, resultado de um movimento vibratório transmitido pelo tráfego à superfície de rolamento.

Alguns fatores dão origem ao defeito, podendo ser destacados os seguintes: a ação contínua de tráfego, a falta de abaulamento, problemas de suporte do material do subleito, a perda de agregados finos da camada de revestimento, subleito ou base e o revestimento de baixa qualidade aliado a escassez de chuva (BAESSO e GONÇALVES, 2003). Tal situação pode ser visualizada na Figura 10.

Figura 10 – Corrugação



Fonte: Moreira (2003).

Fattori (2007) relata que, a solução é o melhoramento da mistura da camada de revestimento primário, com uma correta proporção dos materiais.

Para Baesso e Gonçalves (2003), o operador da motoniveladora em dias de clima seco deverá regularizar a pista, já em dias de umidade, a forma correta de barramento é a agitação da superfície por meio de um leve corte, variando a espessura em profundidade para mais ou para menos de uma polegada de profundidade na posição da cota inferior das depressões. Na sequência, o operador deverá realizar a mistura e espalhamento dos materiais que foram objeto de corte. Por fim, quando não estiverem disponíveis rolos compactadores apropriados, a motoniveladora poderá executar a compactação.

#### **2.4.2 Excessiva poeira**

A poeira consiste na formação de uma nuvem de pó em função da perda da fração de partículas. Este problema ocorre devido à velocidade de circulação dos veículos e às propriedades dos materiais que constituem a camada de revestimento primário (SANTOS, 2003).

Segundo Ferreira (2004), a poeira não é um problema apenas da segurança de circulação, mas também ambiental. Para minimizar este problema existem métodos de tratamento, com aplicação de paliativos que ajudam a reduzir a quantidade de poeira e ajudam na manutenção da estrada de revestimento primário. De acordo com o tipo de material da estrada, a quantidade de tráfego e as condições climáticas, é atribuído um agente de tratamento, que tem como objetivo controlar a poeira, alguns exemplo podem ser citados: cloreto de cálcio, produtos asfálticos, polímeros sintéticos, aditivos químicos e de argila.

O pó nas estradas é mais que um simples desconforto aos usuários, ainda segundo Baesso e Gonçalves (2003), pode causar os seguintes danos: prejuízos em propriedades vizinhas, com as culturas agrícolas; probabilidade de ocorrência de acidentes, por falta de visão dos motoristas; problemas relacionados à saúde das pessoas, como alergias e outras enfermidades; defeitos nos motores dos veículos por conta de partículas abrasivas em suspensão no ar, tendo como consequência, a redução da vida útil dos mesmos, e por fim, promove a fuga de finos, com perda

significante, necessária para restauração do balanceamento de partículas e agregados na mistura. A má condição de visualização do usuário por conta da poeira presente no ar pode ser visualizada na Figura 11.

Figura 11 – Poeira em estrada com revestimento primário



Fonte: Autora (2015).

Para a redução do pó, seguem-se as seguintes etapas: Inicialmente deverá ser realizado na camada final da pista de rolamento, a escarificação, seguido de sua reconformação e regularização, com mistura e agitação dos materiais, utilizando a motoniveladora. Na sequência, se faz necessário uma aplicação do redutor pelo método de espargimento sob alta pressão. Por último, no processo final de operação, a compactação na umidade ótima e recomposição da drenagem superficial, com envolvimento do abaulamento da superfície de rolamento (FATTORI, 2007).

### 2.4.3 Buracos

Os Buracos, também denominados como covas, segundo Santos (2003) surgem quando há liberação de partículas sólidas no leito, por conta da contínua passagem dos veículos em pontos de acúmulo de água. A água acumula em locais planos, onde não há inclinação transversal e nem sistema de drenagem que permita o escoamento da mesma. O buraco desenvolve-se como resultado de um suporte inadequado, ou seja, defeito estrutural, decorrente da má qualidade do material. O

que pode contribuir para a ocorrência deste defeito é a falta de manutenção e drenagem inadequada.

Baesso e Gonçalves (2003) definem as principais causas de buracos na superfície de rolamento, destacando as seguintes: materiais da superfície ou da camada com falta de partículas aglutinantes, falta ou ainda inadequada composição da mistura para o revestimento primário e estrada com deficiência na drenagem e por último, carência de abaulamento transversal, conforme Figura 12.

Figura 12 – Buracos preenchidos por água



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003).

Conforme a quantidade de buracos em pontos específicos num segmento de estrada com revestimento primário pode envolver o ataque de uma simples operação de fechamento ou até o emprego da motoniveladora para a regularização da pista de rolamento (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

A correção deste problema, de acordo com Oliveira (2008), deverá começar pela drenagem das águas da plataforma, por meio do abaulamento transversal, valetas e sangras. Posteriormente deverá ser realizado o fechamento dos buracos.

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), em buracos de pequenas proporções na superfície de rolamento é recomendando o fechamento de forma manual. No segundo caso, em que envolve a recomposição de um trecho é sugerido um corte

com a lâmina de motoniveladora, com altura não inferior as das depressões, melhorando a plataforma. Na sequência o material cortado é espalhado, conjuntamente com acabamento final.

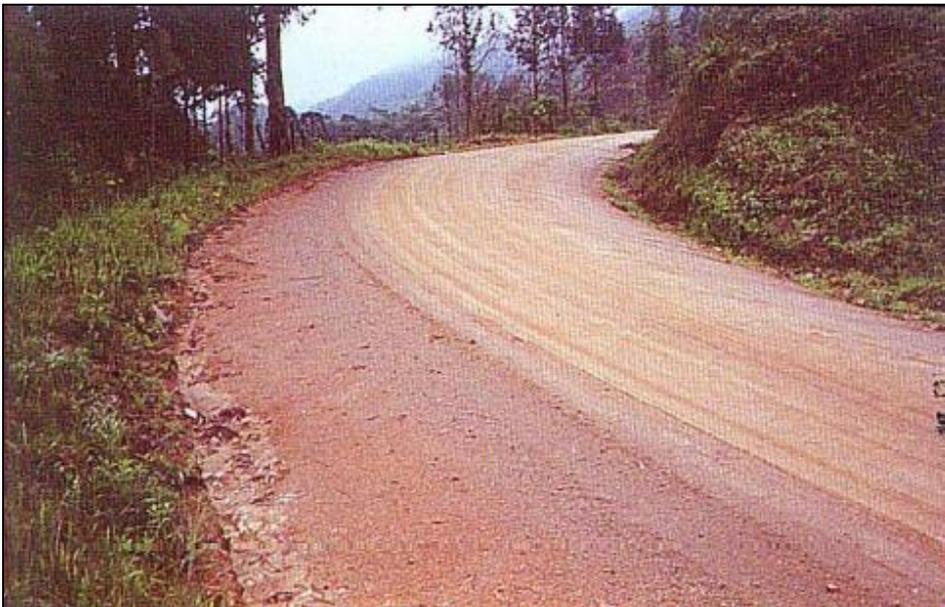
#### **2.4.4 Seção transversal imprópria**

Para Ferreira (2004), a seção transversal é um dos principais elementos das estradas com revestimento primário e tem a função de não permitir que as águas permaneçam sobre a plataforma de rolamento, evitando a deterioração da superfície além de garantir a segurança.

A seção transversal imprópria tem como característica a inadequação do perfil geométrico transversal da estrada, prejudicando o escoamento das águas pluviais e impossibilitando a colocação de qualquer sistema que realize a drenagem (OLIVEIRA, 2008).

Conforme Baesso e Gonçalves (2003), uma estrada com revestimento primário deve ser conformada de tal maneira que permita a drenagem eficiente das águas superficiais, para a captação e escoamento em sarjetas, por exemplo. Na Figura 13, pode-se visualizar com clareza a declividade diferenciada, sendo vital para o funcionamento da drenagem.

Figura 13 – Estrada de revestimento primário com declividade



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003).

Algumas estradas ainda apresentam gabaritos inferiores às necessidades, estas são mais propícias a sofrer deterioração da pista de rolamento (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

A solução para seção transversal imprópria é a execução do abaulamento de 4% da faixa de tráfego, promovendo a condução ordenada das águas (FATTORI, 2007).

#### **2.4.5 Drenagem inadequada**

As estradas com revestimento primário são infraestruturas de transporte que estão expostas às condições climáticas tanto quanto o tráfego. Uma forma de tentar manter a estrada em boas condições é garantindo um eficiente sistema de drenagem. Faz-se necessário o dimensionamento do sistema de drenagem, conhecendo a pluviosidade da zona em estudo, o tráfego existente, as características fisiográficas e de ocupação de solo, caso contrário, problemas relacionados ao sistema de drenagem irão ocorrer (SANTOS, 2003).

A drenagem inadequada segundo Baesso e Gonçalves (2003), ocasiona o acúmulo de água na plataforma de rolamento das estradas não pavimentadas. Na Figura 14, um exemplo de falha na drenagem com acúmulo de água na superfície de rolamento da estrada com revestimento primário.

Os mesmos autores relatam que isto se deve ao mau funcionamento dos dispositivos de drenagem superficial, muitas vezes, por não existirem elementos de drenagem profunda e pela falta de manutenção dos bueiros tubulares.

Segundo Ferreira (2004), na maior parte dos casos, a simples valeta lateral é suficiente, algumas vezes são necessários dispositivos especiais para a remoção de uma grande quantidade de água.

Figura 14 – Drenagem inadequada



Fonte: Autora (2015).

A solução do defeito para este caso é a recomposição da drenagem superficial (sarjetas), com o uso do bico de lâmina da motoniveladora (FATTORI, 2007).

#### **2.4.6 Perda de agregados**

Consiste na perda de agregados, formando um cordão lateral e no centro da estrada com revestimento primário. Este tipo de defeito ocorre em estradas de revestimento primário, em solo muito argiloso em que foi acrescentado solo granular sem a devida compactação e também em vias planas onde há falta de material fino ligante (SANTOS, 2003).

Para Baesso e Gonçalves (2003), há uma perda de agregados com a excessiva passagem dos veículos (FIGURA 15), provocando a separação da parte grossa que compõe os agregados, conseqüentemente há formação de finas camadas de agregados posicionadas junto aos bordos ou às trilhas de roda da pista. A mais importante causa deste problema é a falta de proporções adequadas de material ligante em meio à mistura de materiais.

Figura 15 – Perda de agregados



Fonte: Autora (2015).

Para o combate de perdas de agregados pressupõe-se a regularização simples da superfície de rolamento ou a regularização com a adição de parte do material que não se encontra na mistura, isso, caso a desagregação seja acentuada. Sugere-se o corte de toda a camada, adicionando parte de agregados não presentes na mistura, umedecimento em teores ótimos, reconformação da pista e compactação final (FATTORI, 2007).

#### **2.4.7 Trilha de roda**

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), são originárias da deformação permanente do subleito ou camada de revestimento, conforme Figura 16. Formadas pelas repetitivas passagens de veículos longitudinalmente ao eixo da estrada. Isso quando os materiais que compõem as estradas não possuem a capacidade de suporte suficiente ou por deficiência da drenagem da plataforma. Caso o defeito não seja barrado quando surgir, a estrada poderá tornar-se intransitável.

Figura 16 – Trilha de roda



Fonte: Autora (2015).

Fattori (2007) ressalta que existem três situações distintas para as intervenções em trilha de roda, tomando por base o nível de seriedade do problema com enfoque nas seguintes formas: regularização da plataforma pela motoniveladora para aumentar a vida útil da superfície de rolamento, no segundo caso, adição de materiais para melhoramento da mistura, seguido de espalhamento e compactação com equipamentos corretos, e por fim, serviços de drenagem, restauração da área afetada, com substituição do solo ou inclusão de materiais, para posterior revolvimento, aeração e execução de camada de revestimento.

## 2.5 Manutenção

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), a forma incorreta do traçado gera na manutenção de estradas com revestimento primário, um elevado custo e exaustiva execução. Deve-se fazer a manutenção de forma frequente e correta, assim garantirá uma redução de gastos, isso principalmente no que diz respeito à composição de drenagem.

A manutenção em estradas com revestimento primário pode ser realizada pela regularização ou reconformação ou recomposição, quando se trata da superfície da estrada, conforme necessidade e tipos de condições que se apresentam. Em vários estudos é recomendada a manutenção e o quanto é

economicamente viável, caso contrário, a estrada poderá sofrer melhorias no revestimento (FERREIRA, 2004).

Manutenções devem ser feitas constantemente e, quando realizadas, inclui uma posição da pista de rolamento; restauração de pontos críticos em que o revestimento apresenta deficiência; organização das obras de drenagem, melhoramento ou proteção das saídas de drenagem; recuperação de áreas comprometidas e outros serviços (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Uma análise das condições da estrada de revestimento primário é feita e a partir deste estudo é possível optar por diversos tipos de manutenção, como a de rotina, a periódica e a de emergência. A de rotina é adotada anualmente, onde busca conservar as condições da estrada e de manter o nível de serviço. Quanto à manutenção periódica, recomenda-se após o período de alguns anos, com o objetivo de conservar a integridade estrutural. Por fim, quando ocorre um acontecimento que não estava previsto, ainda, que prejudique o tráfego, adota-se a manutenção de emergência (SANTOS, 2003).

Baesso e Gonçalves (2003) ressaltam que, uma estrada com revestimento primário deve estar apta ao tráfego que receberá, ou seja, suficientemente resistente, para evitar deformações de grandes proporções. Deve possuir capacidade suficiente de suporte de rolamento, pois desta forma apresentará resistência, isto se reporta ao material utilizado e ao revestimento da camada de subleito, mantendo-se unidos no momento das solicitações de tráfego.

## **2.6 Modelos existentes para o dimensionamento, manutenção e reabilitação**

Os modelos de dimensionamento de estradas com revestimento primário existentes levam em conta as características de cada país e em alguns casos é possível aplica-los em outros locais, além do próprio local de origem.

Segundo Santos (2013), há possibilidade de realizar a análise dos defeitos formados na superfície da estrada, a partir de uma avaliação dos danos das estradas afetadas pelo tráfego e pelas condições climáticas. A constatação é feita por inspeções visuais ou por estimativa, tudo irá depender das características do

material que compõe a estrada, isso em relação às quantidades que será necessário nas manutenções periódicas.

### **2.6.1 Brasil**

O Brasil possui, em sua maioria, estradas com revestimento primário, visto que, de acordo com a CNT (2014) representam aproximadamente 80,33% do total da malha viária nacional, no entanto, é importante ressaltar que o país carece de técnicas de manutenção.

Existem manuais de conservação e recuperação de estradas com revestimento primário, porém, não existem métodos que caracterizem os defeitos. Segundo Ferreira (2004), métodos de classificação das condições da superfície de estradas com revestimento primário desenvolvidos em outros países podem ser aplicados no Brasil, levando em conta as condições que caracterizam o país, como clima e aos procedimentos de práticas de manutenção da estrada.

Foram aplicados no Brasil por Ferreira (2004), métodos que classificam as condições da superfície das estradas com revestimento primário. A pesquisa realizada *in situ*, revelou que os métodos que melhor se adaptaram as características do país, foram aqueles desenvolvidos no Reino Unido e nos Estados Unidos da América.

### **2.6.2 Europa**

Em alguns países localizados no norte da Europa, como a Escócia, a Finlândia, a Noruega e Suécia, não existem métodos específicos para o dimensionamento de estradas com revestimento primário, porém, há um cuidado quanto à manutenção e reabilitação da estrada.

As mudanças climáticas nestes países em ciclos de gelo e degelo danificam as estradas de revestimento primário. Com a ação do degelo no período da primavera, a superfície da estrada sofre danos, reduzindo principalmente a capacidade de suporte. Para a reabilitação, são necessários 2 a 4 anos, envolvendo manutenção periódica e monitorização. É realizada uma análise, obtida através de

ensaios *in situ*, além de uma avaliação visual das condições estruturais da estrada, dos sistemas de drenagem e dos danos ocorridos na superfície, visando encontrar o mais adequado processo (SANTOS, 2013).

Segundo Ferreira (2004), na Finlândia, utiliza-se um método que tem como objetivo, avaliar as condições da superfície da estrada. Para tanto, é conferido uma nota, que varia de 0 a 5, tendo cada nota correspondente às descrições da superfície de rolamento, assim é descoberto quando as estradas requerem manutenção.

A Tabela 3 trata de uma escala de classificação, quanto à condição da superfície da estrada de cascalho.

Tabela 3 – Escala de classificação

<b>Avaliação</b>	<b>Condição</b>
4.1 – 5.0	Superfície da estrada manteve sua forma; possível irregularidade de superfície, mas que não afeta o conforto das viagens.
3.1 – 4.0	Superfície da estrada manteve a sua forma; algumas covas isoladas aqui e ali; nenhum pó; a velocidade é mantida, apesar das irregularidades.
2.1 – 3.0	A superfície de estradas manteve a sua forma; pequenas covas e irregularidades locais; presença de pó; covas e pontos irregulares podem ser evitados, ou a velocidade de circulação pode ser mantida; necessário adotar velocidade mais baixa para dar passagem, para ultrapassagem ou para aproximação de veículos.
1.1 – 2.0	A forma da seção transversal da estrada pode ter mudado um pouco; algumas cremalheiras na superfície; irregularidades locais marcadas com sinais de trânsito; pó moderado; às vezes é necessária velocidade mais baixa e devem ser evitados pontos irregulares.
0.1 – 1.0	A forma da seção transversal da estrada mudou em vários pontos; superfície esta irregular devido a covas e cremalheiras; irregularidades na estrada que não podem ser evitadas; bastante pó; superfície da estrada deve ser constantemente assistida e frequente variação na velocidade.

Fonte: Ferreira (2004, p. 175).

### 2.6.3 Estados Unidos da América

Segundo Santos (2013), na América, os Estados Unidos é um dos países que mais desenvolve métodos para dimensionamento e de avaliação dos danos de estradas com revestimento primário, métodos que foram desenvolvidos por organizações como *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, *United States Army Corps of Engineers (USACE)*, *Federal Highway Administration (FHWA)* e *United States Forest Service (USFS)*.

Um dos métodos é o *Gravel Paser Manual (Pavement Surface Evaluation and Rating)*, Manual de Avaliação e Classificação da Superfície de Pavimento de Cascalho (GPM), foi elaborado pela *University of Wisconsin-Madison* dos Estados Unidos da América pelo *Transportation Information Center*. Permite avaliar visualmente as condições da estrada de cascalho de acordo com a ação do tráfego e das condições climáticas, bem como as atividades de manutenção, como a passada de uma motoniveladora que pode melhorar as condições de tráfego nas estradas de cascalho (FERREIRA, 2004).

Segundo o mesmo autor o método de avaliação considera importante a seção transversal, a drenagem e a camada de cascalho. Para a classificação das condições das estradas de cascalho são consideradas cinco situações:

- ✓ Seção transversal – a elevação e a condição do abaulamento;
- ✓ Drenagem – a capacidade das valetas laterais da estrada e os bueiros sob a estrada para conduzir a água para fora da estrada;
- ✓ Camada de cascalho – adequada espessura (considera como espessura mínima de 10 a 15 cm dependendo do tipo de solo) e a qualidade do cascalho para suportar a carga de tráfego;
- ✓ Deformação da superfície – ondulações, buracos e afundamento de trilha de roda (ATR);
- ✓ Defeitos da superfície – poeira e agregados soltos.

Na Tabela 4, classificação dos defeitos que varia numa escala de 1 á 5, para facilitar sua utilização em campo.

Tabela 4 – Classificação dos defeitos

Classificação	Excelente	Bom	Regular	Ruim	Falido
Defeitos	5	4	3	2	1
Seção transversal	Excelente	Boa	Boa	Pouca	Sem
Ondulações (profundidade)	Nenhuma	Leve	2.5 – 5.0 cm	> 7.5 cm; 25% de área	Não especificado
ART (profundidade)	Nenhum	Nenhum	Leve - < 2.5 cm	Moderada – 2.5 – 7.5 cm; 10 – 25% de área	Severo - > 7.5 cm; > 25% de área
Buracos (profundidade)	Nenhum	Nenhum	Algum - < 5.0 cm	Moderado – 5.0 – 10 cm; 10 – 25% de área	Severo - > 10 cm; > 25% de área
Agregados soltos	Nenhum	Moderado	Cerca de 5.0 cm	Severo - > 10 cm	Muitas áreas - > 25%

Fonte: Ferreira (2004, p. 60).

Outro método foi desenvolvido por Barber e Greenfield, com a ajuda do *United States Army Corps of Engineers* (USACE), utilizado para determinar a espessura da camada de cascalho, satisfazendo as necessidades das estradas florestais (SANTOS, 2013). Para obter a espessura da camada, envolve um cálculo complexo, apresentado na equação número “5”.

$$\text{Log} ( t ) = 1,53 + 0,27 \cdot (P_k^{0,2016} \cdot t_p^{0,2481} \cdot R^{0,0474} / RD^{0,2128} \cdot C_1^{0,2414} \cdot C_2^{0,0596}) \quad (5)$$

Onde t = espessura do pavimento;

$P_k$  = Eixo equivalente;

$t_p$  = Pressão dos pneus;

R = Número de aplicações de carga;

RD = Profundidade de rodeiras na rotura;

$C_1$  = CBR dos agregados, e

$C_2$  = CBR da fundação.

## 3 MÉTODOS EMPREGADOS NA PESQUISA

Conforme já mencionado anteriormente, o trabalho visa desenvolver um ábaco para estradas com revestimento primário. Para atingir tal objetivo, são descritos neste capítulo os métodos empregados.

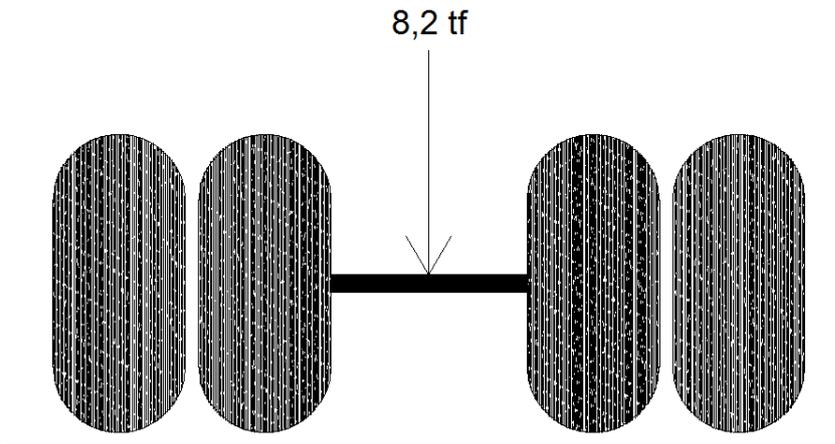
### 3.1 Tráfego

As análises realizadas abordarão o tráfego de veículos expresso pelo Número N. Segundo Brasil (2006), no manual de estudo de tráfego, o número “N”, é definido pelo número de repetições de um eixo-padrão de 8,2 t, durante o período de vida útil do projeto. Na sua determinação são considerados os fatores de composição do tráfego referentes a cada categoria de veículos, aos pesos das cargas transportadas e sua distribuição nos diversos tipos de eixos dos veículos.

Com base nas projeções do tráfego, são calculados os valores anuais e acumulados em um período de projeto. No entanto, faz-se necessário o conhecimento quantitativo e qualitativo na sua composição presente e futura. Isso é possível por meio das pesagens, contagens volumétricas classificatórias, pesquisa de origem e destino e pesquisa de tendências da frota regional ou nacional (BRASIL, 2006).

Contudo, a carga utilizada nas simulações será de um eixo simples de rodado duplo com 8,2 tf, que é o eixo padrão no Brasil, podendo ser visto na Figura 17.

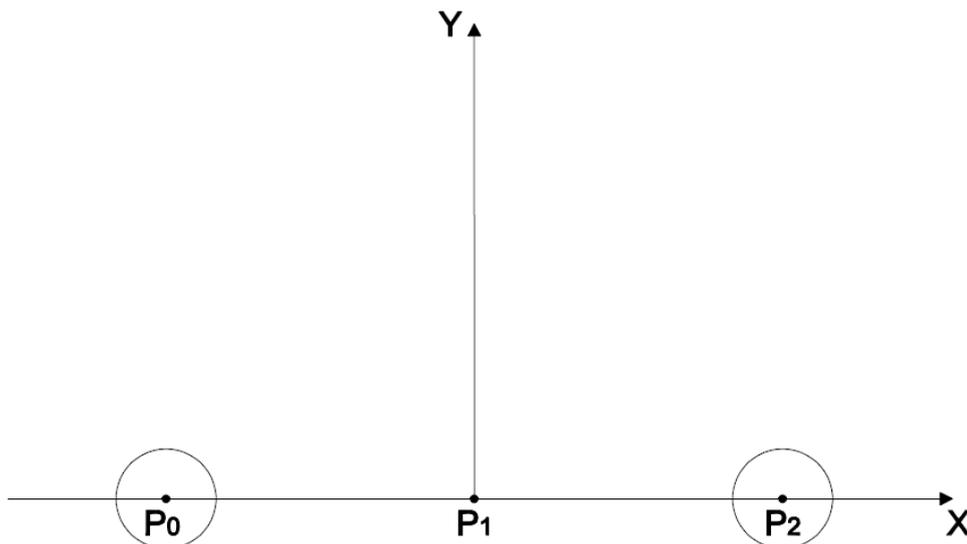
Figura 17 – Eixo padrão no Brasil



Fonte: Autora (2014).

A pressão de inflação dos pneus utilizada será de 560 KPa, distribuída em área de contato no formato circular resultante do semieixo, conforme Figura 18 e Tabela 5.

Figura 18 – Pontos de avaliação entre rodas do semieixo



Fonte: Autora (2014).

Tabela 5 – Coordenadas (em cm) dos pontos de avaliação entre rodas do semieixo

Ponto	X	Y
P0	-15	0
P1	0	0
P2	15	0

Fonte: Autora (2014).

As composições de veículos não serão objeto de estudo desta pesquisa. A pesquisa somente irá considerar a quantidade acumulada de eixos padrões equivalentes (Número N) durante o período de projeto. Dessa forma, os valores analisados para o Número N de  $10^2$ ,  $10^3$  e  $10^4$ .

### 3.2 Comportamento resiliente

Para a obtenção do módulo de resiliência (MR), será utilizada a relação comumente empregada, com base no valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR). Apresentada na equação número “6”.

$$MR = 10 \cdot CBR \quad (6)$$

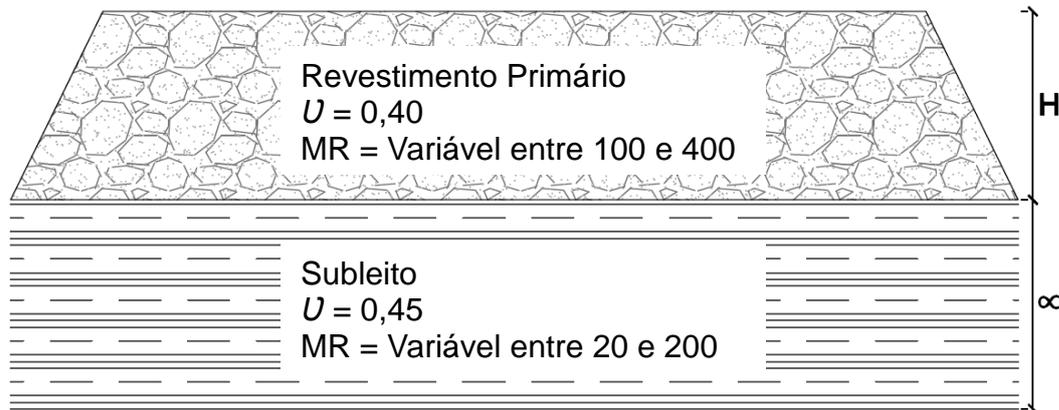
Onde o MR é o módulo de resiliência, em MPa, e CBR (Índice de Suporte Califórnia), em %, é um método de ensaio empírico que mede a capacidade de suporte de um solo compactado.

A necessidade de conversão de CBR para MR surge devido à prática de engenharia ainda utilizar, em sua grande maioria, o valor de CBR para caracterizar os materiais empregados.

As análises realizadas nesta pesquisa irão considerar que a estrutura da estrada consiste de apenas duas camadas: uma representando o subleito e outra o revestimento primário. Conforme Figura 19, os parâmetros do coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) serão fixados em 0,45 para o subleito e 0,40 para o revestimento primário. Entretanto, os valores elásticos dessas camadas serão arbitrados de modo a simular um amplo universo de situações.

Os valores do coeficiente de Poisson foram fixados de acordo com os valores adotados por Silva, Carvalho, Lima, Calijuri e Machado (2011).

Figura 19 – Parâmetros considerados no Revestimento Primário e Subleito



Fonte: Autora (2014).

### 3.3 Tensão admissível no subleito

Para a determinação da tensão admissível no subleito será empregado o modelo proposto por Heukelom e Klomp, expresso na equação número “8”.

$$\sigma_{Vadm} = \frac{0,006 \cdot MR}{1 + 0,7 \cdot \log N} \quad (8)$$

Onde  $\sigma_{Vadm}$  é a tensão vertical admissível no topo do subleito, MR é o módulo de resiliência do subleito em Kgf/cm<sup>2</sup>, e N é o número de aplicações de carga.

Com base nos valores do Número N e do MR do subleito, será determinada a tensão admissível para cada situação, sendo assim, irá se determinar qual deve ser a espessura do revestimento primário, de modo a atender este critério de degradação.

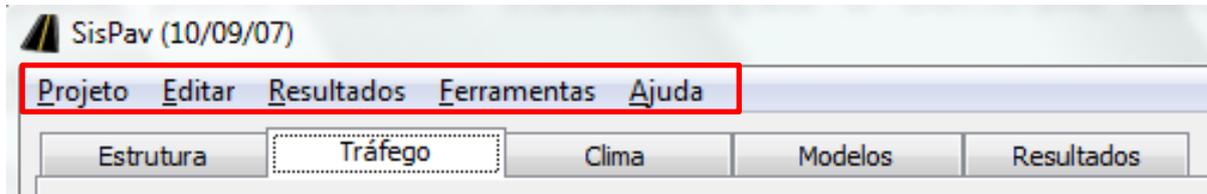
### 3.4 Software SisPav

Com base em princípios da mecânica dos pavimentos, será analisada a tensão vertical atuante no topo do subleito, com o emprego do *software* SisPav. Portanto, o uso desta ferramenta computacional é de grande valia neste estudo, pois

adota conceitos mecânicos em suas análises.

O SisPav é dividido em cinco abas principais, podendo os dados inseridos serem alterados ou removidos conforme necessidade. Possui as opções de *Projeto*, *Editar*, *Resultados*, *Ferramentas* e *Ajuda*, como pode ser visualizado na Figura 20.

Figura 20 – Abas principais do SisPav



Fonte: Adaptado pela autora (2014).

Na aba <*Ferramentas*> temos o programa Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC), que é utilizado como rotina no SisPav.

Segundo Franco (2007) o SisPav utiliza a teoria da elasticidade, por meio do programa AEMC. Existem duas opções de análise. A primeira delas é o dimensionamento da estrutura, na qual o programa verifica os dados de entrada e, por meio de um algoritmo similar ao de busca binária em tabela ordenada, encontra a espessura da camada que é favorável aos requisitos de projeto. A segunda análise simplesmente realiza uma verificação dos dados e requisitos impostos pelo projetista, indicando a vida de projeto que a estrutura pode suportar. Para este trabalho, será utilizada a primeira opção de análise.

O programa AEMC possui três abas na janela principal: a primeira <*Estrutura*>, conforme Figura 21, na qual exibe uma tabela de dados que permite inserir as informações da estrutura do pavimento, são aceitas entre uma a oito camadas. Para que o programa identifique o subleito, como convenção, deve ser representado com uma espessura nula. As unidades utilizadas são em metros para as espessuras e MPa para os módulos de resiliência.

Figura 21 – Aba &lt;Estrutura&gt; do programa AEMC

Camada	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr (MPa)	k2	k3	k4	k5	Aderência
1	0.40	0.40	3	100	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.00	0.45	3	20	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
3									
4									
5									
6									
7									
8									

Subleito representado com espessura = 0.00m

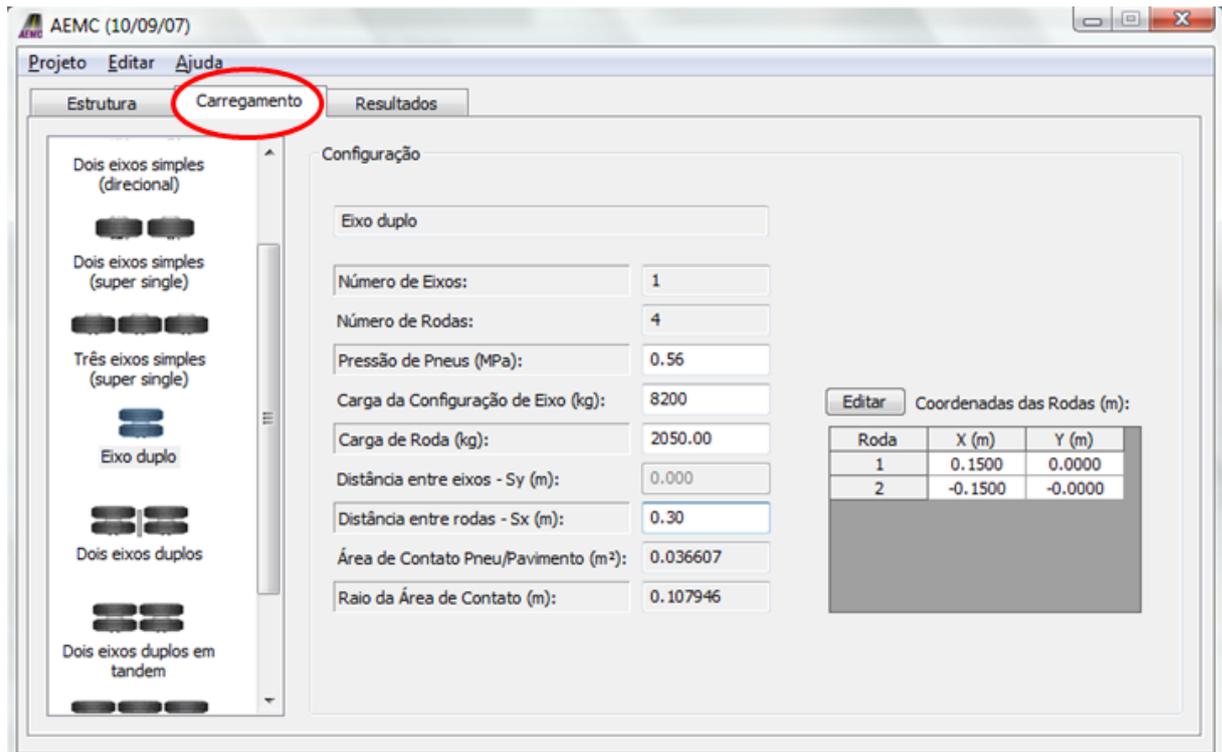
Fonte: Adaptado pela autora (2015).

Para a aba <Estrutura>, segue as considerações:

- ✓ A primeira linha corresponde aos dados do revestimento primário e a segunda linha aos dados do subleito;
- ✓ A primeira coluna se refere à camada que representa a espessura do revestimento primário, ela varia de acordo com os valores obtidos para a tensão vertical atuante no topo do subleito;
- ✓ A segunda coluna trata do coeficiente de Poisson ( $\nu$ ). Para todas as simulações será considerado o mesmo valor, 0,40 para a camada do revestimento primário e 0,45 para o subleito;
- ✓ Existem 7 modelos que constituem o comportamento resiliente dos materiais de pavimentação observados no Brasil. Neste trabalho será adotado o Modelo 3, expresso na terceira coluna, no qual o módulo de resiliência (MR) é constante;
- ✓ Na quarta coluna, trata-se dos valores de módulo de resiliência (MR);
- ✓ Quanto aos valores de  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$  e  $K_5$  referem-se ao comportamento resiliente dos materiais, são constantes determinadas experimentalmente, neste trabalho serão consideradas iguais a 0,00 para todas as simulações.

A segunda aba <Carregamento>, conforme Figura 22, permite a escolha do carregamento para posterior análise. Os valores de pressão de pneus, carga do eixo, ou a carga de roda, além das coordenadas das rodas ou das distancias entre rodas e entre eixos (Sx e Sy) da configuração de eixo selecionada, poderão ser alterados. As unidades são em metros para as distâncias, kg para as cargas de eixos e de rodas e MPa para a pressão de pneus (FRANCO, 2007).

Figura 22 – Estrutura do carregamento e coordenada de avaliação entre rodas do semieixo

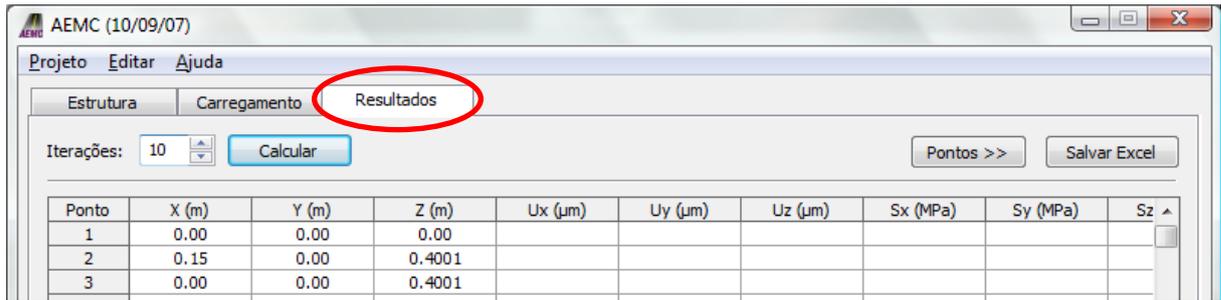


Fonte: Adaptado pela autora (2015).

Neste trabalho, a carga adotada é do eixo padrão no Brasil, ou seja, eixo simples de rodado duplo com 8,2 tf, com inflação dos pneus de 0,56 MPa. A distância entre rodas do semieixo é de 0,30 metros.

Por último, na aba <Resultados> (FIGURA, 23) são gerados os cálculos de tensões, deformações e deslocamentos nos pontos estabelecidos. Possui a opção de digitar todos os pontos nas colunas X, Y e Z ou automaticamente são preenchidos pela opção <Pontos>, na opção <Gerar Pontos Automaticamente>. Posteriormente, com a escolha da opção <Calcular>, inicia-se o processo de cálculo, podendo ser interrompido com a escolha da opção <Abortar> (FRANCO, 2007).

Figura 23 – Pontos a serem analisados nas colunas x, y e z



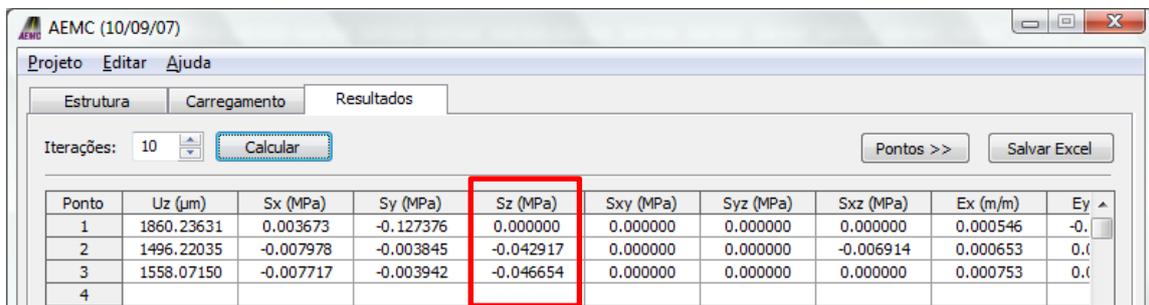
Fonte: Adaptado pela autora (2015).

Os Valores de “Z”, na segunda e terceira linha são alterados conforme o valor da espessura adotado na aba <Estrutura>, porém com acréscimo de 0,0001 metros.

Em uma análise com materiais de comportamento elástico não linear é possível definir o número de iterações de cálculo, na opção <Iterações>, variando entre um a dez (FRANCO, 2007). Para este trabalho serão dez interações.

Por fim, com os resultados será possível visualizar na coluna “Sz” (FIGURA 24), os valores correspondentes à tensão vertical atuante no topo do subleito, que deverão ser iguais ou inferiores à tensão vertical admissível, caso contrário, deverá ser alterada a espessura do revestimento primário, até atender o critério.

Figura 24 – Valores correspondente à tensão vertical atuante no topo do subleito



Fonte: Adaptado pela autora (2015).

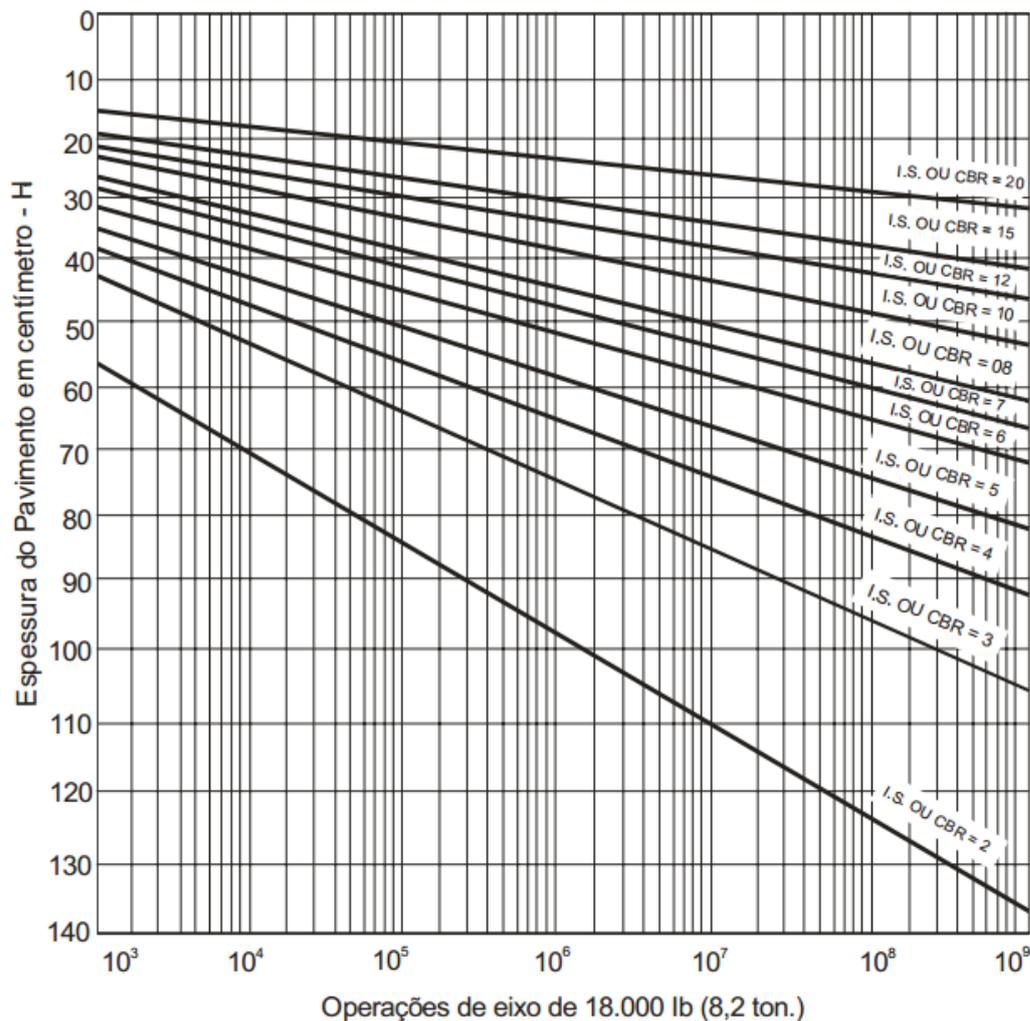
Na opção <Projeto> na janela principal do programa, os arquivos podem ser manipulados, como as seguintes opções: *Abrir*, *Salvar*, *Salvar como* e *Sair*. Os resultados finais poderão ainda ser exportados para uma planilha Excel.

### 3.5 Análise dos resultados

De posse dos resultados buscar-se-á a construção de um ábaco para facilitar o dimensionamento de estradas com revestimento primário empregando conceitos da mecânica dos pavimentos. Para cada situação estudada, ou seja, combinação do módulo de resiliência (MR) do revestimento primário com o MR do subleito, será determinada a espessura da camada do revestimento primário para atender ao critério da tensão admissível no topo do subleito.

Como resultado final da pesquisa pretende-se criar um ábaco semelhante ao existente para dimensionamento de pavimentos flexíveis, conforme mostrado na Figura 25.

Figura 25 – Ábaco para dimensionamento de pavimentos flexíveis



Fonte: Brasil (2006).

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Avaliação dos resultados

Através do cálculo que determina o módulo de resiliência (MR), foi possível obter valores entre 20 MPa e 200 MPa, correspondentes aos materiais da camada do subleito, tendo em vista os valores correspondentes ao Índice de Suporte Califórnia (CBR), expresso em porcentagem. Posteriormente, foram realizados os cálculos da tensão vertical admissível no topo do subleito em função dos valores do MR e para um número de aplicações de carga (Número N) de  $10^2$ ,  $10^3$  e  $10^4$ .

Os valores correspondentes a tensão vertical atuante no topo do subleito foram obtidos com a ajuda do *Software* SisPav, no programa Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC), obedecendo os parâmetros da estrutura já estabelecidos.

De posse dos resultados, elaborou-se uma planilha para cada módulo de resiliência (MR) do revestimento primário, para MR de 100, 200, 300 e 400 MPa. Em cada planilha, encontra-se os valores do Índice de Suporte Califórnia (CBR), o módulo de resiliência (MPa) e a tensão vertical admissível no topo do subleito ( $\sigma_{v adm}$ ), para um Número N de  $10^2$ ,  $10^3$  e  $10^4$  na camada do subleito. Para cada situação, é possível visualizar o valor da espessura (Esp.) do revestimento primário.

Contudo, pode-se desenvolver um ábaco para cada módulo de resiliência (MR) do revestimento primário, identificando a respectiva espessura da camada, tendo em vista os valores do Índice de Suporte Califórnia (CBR) do subleito e o

Número N.

#### 4.1.1 Resultados da espessura do revestimento primário para MR de 100 MPa

Para o MR do revestimento primário de 100 MPa (equivalente a um CBR de 10%) e subleito com valores de CBR variando de 2% a 20%, os resultados obtidos encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Espessura do revestimento primário com MR de 100 MPa

CBR (%)	MR (MPa)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^2$ ) KPa	Esp. (cm)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^3$ ) KPa	Esp. (cm)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^4$ ) KPa	Esp. (cm)
2	20	50	38	38,71	46,00	31,58	51,00
3	30	75	33	58,06	40,00	47,37	45,00
4	40	100	29	77,42	35,00	63,16	40,00
5	50	125	25	96,77	31,00	78,95	37,00
6	60	150	23	116,13	28,00	94,74	33,00
7	70	175	21	135,48	25,00	110,53	30,00
8	80	200	19	154,84	23,00	126,32	27,00
10	100	250	17	193,55	21,00	157,89	24,00
12	120	300	15	232,26	18,00	189,47	21,00
15	150	375	12	290,32	16,00	236,84	19,00
20	200	500	10	387,10	12,00	315,79	15,00

Fonte: Autora (2015).

Para as condições da Tabela 6, foi possível a seguinte análise:

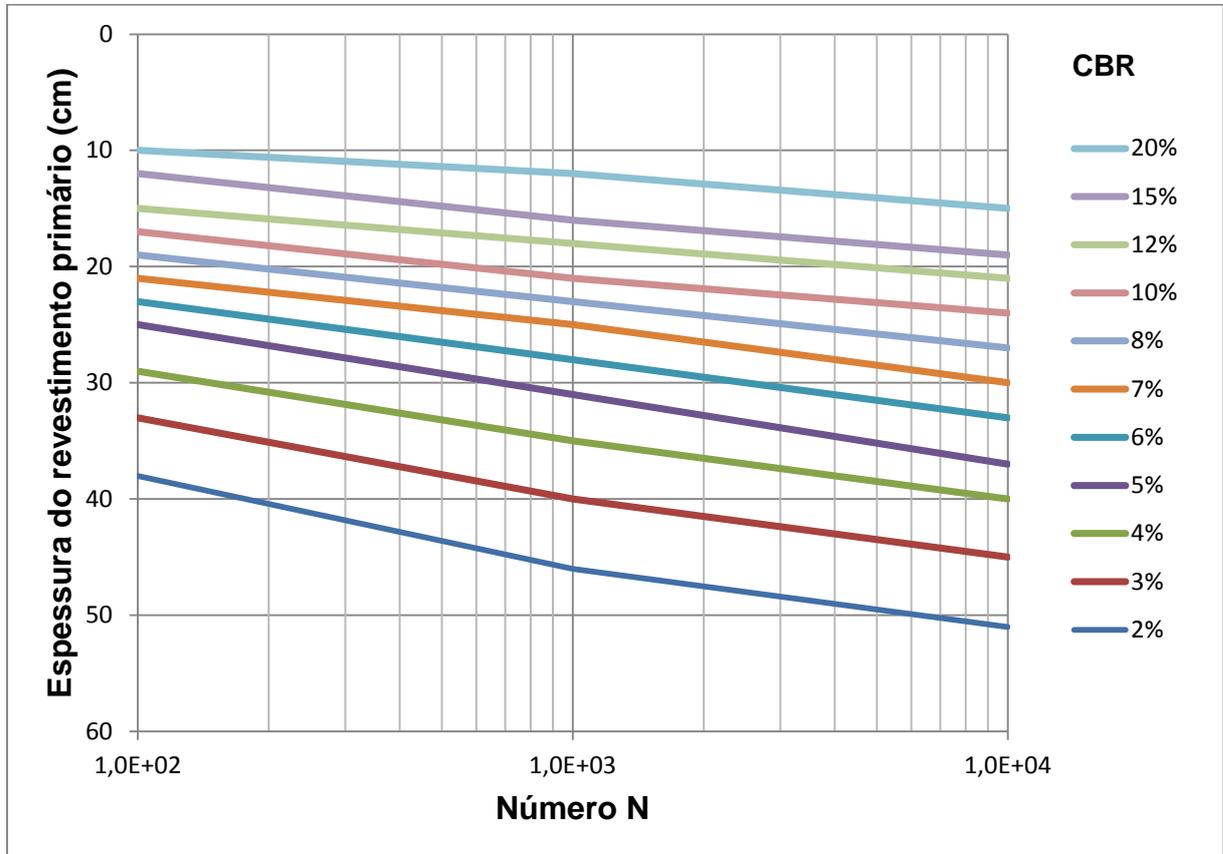
✓ A espessura da camada do revestimento primário tem variação de aproximadamente 74% entre o menor valor do CBR (2%) e o maior valor do CBR (20%) do subleito para  $N= 10^2$  e  $10^3$  e para o  $N= 10^4$  a espessura varia aproximadamente 71%, e

✓ O módulo de resiliência (MR) da camada do revestimento primário é inferior ao que se recomenda para este tipo de pavimento, pois possui CBR para o revestimento primário de 10%, sendo que o mínimo aconselhável é de 20%.

Posteriormente, com base nos valores da Tabela 6, foi criado um ábaco

(FIGURA 26) que facilita o dimensionamento da espessura da camada do revestimento primário.

Figura 26 - Ábaco para dimensionamento do revestimento primário com MR de 100 MPa



Fonte: Autora (2015).

#### 4.1.2 Resultados da espessura do revestimento primário para MR de 200 MPa

Para o módulo de resiliência (MR) do revestimento primário de 200 MPa, foram considerados os mesmos parâmetros do MR de 100 MPa e se obteve os valores apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Espessura do revestimento primário com MR de 200 MPa

CBR (%)	MR (MPa)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^2$ ) KPa	Esp. (cm)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^3$ ) KPa	Esp. (cm)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^4$ ) KPa	Esp. (cm)
2	20	50	30	38,71	37,00	31,58	41
3	30	75	26	58,06	32,00	47,37	36
4	40	100	23	77,42	28,00	63,16	33
5	50	125	21	96,77	25,00	78,95	30
6	60	150	19	116,13	23,00	94,74	27
7	70	175	18	135,48	22,00	110,53	25
8	80	200	16	154,84	20,00	126,32	23
10	100	250	14	193,55	18,00	157,89	21
12	120	300	13	232,26	16,00	189,47	19
15	150	375	10	290,32	14,00	236,84	17
20	200	500	10	387,10	11,00	315,79	13

Fonte: Autora (2015).

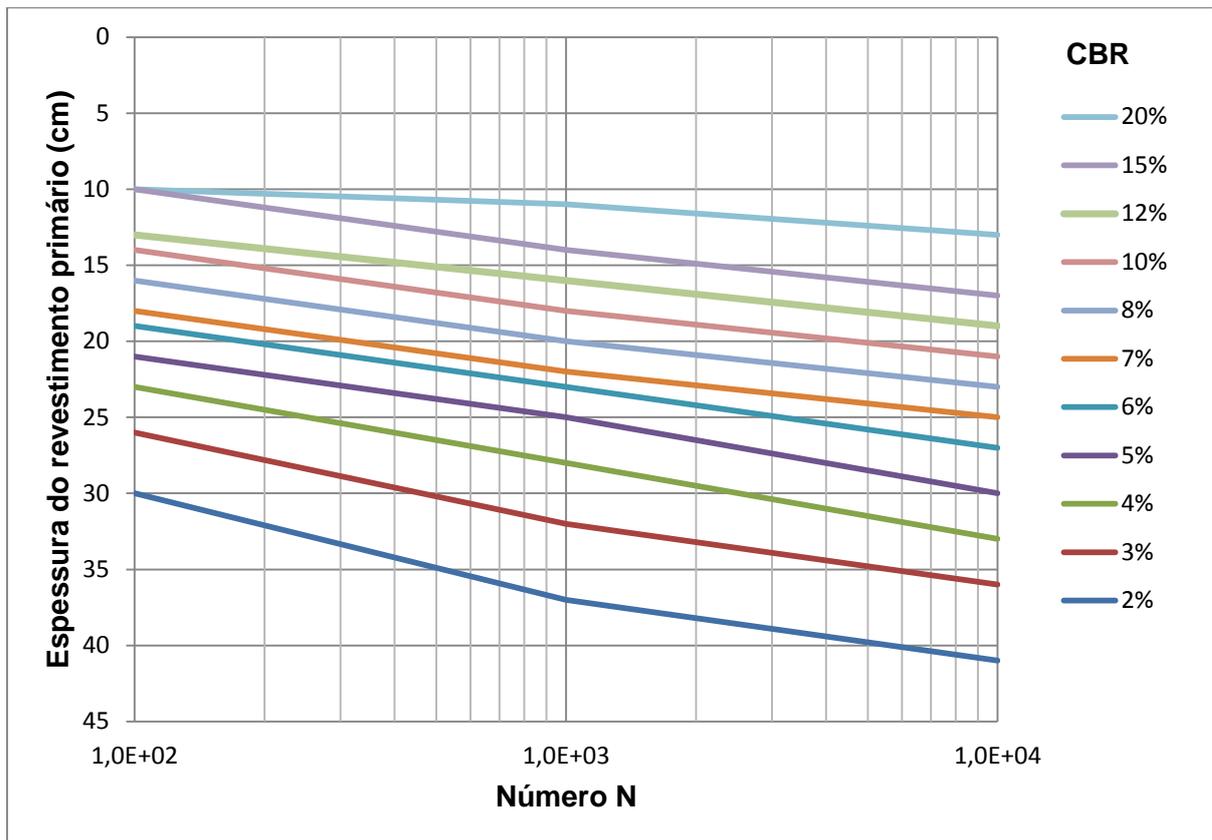
Para as condições da Tabela 7, foi possível a seguinte análise:

✓ Quando o módulo de resiliência (MR) do subleito assume valor de 150 MPa, com a mesma quantidade acumulada de eixos padrões equivalente a  $10^2$  para o MR do subleito de 200 MPa, a espessura da camada do revestimento primário nos dois casos permanece a mesma, ou seja, igual a 10 cm, e

✓ A espessura da camada do revestimento primário tem variação de aproximadamente 67% entre o menor valor do CBR (2%) e o maior valor do CBR (20%) do subleito para Número N de  $10^2$ , já para o N de  $10^3$  a variação é de aproximadamente 71% e para o N de  $10^4$  a espessura varia 69%.

A partir dos resultados da Tabela 7, foi possível desenvolver o ábaco com o módulo de resiliência (MR) de 200 MPa (equivalente a um CBR de 20%) para a camada do revestimento primário, conforme a Figura 27.

Figura 27 - Ábaco para dimensionamento do revestimento primário com MR de 200 MPa (CBR de 20%)



Fonte: Autora (2015).

#### 4.1.3 Resultados da espessura do revestimento primário para MR de 300 MPa

Para o módulo de resiliência (MR) da camada do revestimento primário de 300 MPa (equivalente a um CBR de 30%) e subleito com valores de CBR variando de 2% a 20%, os resultados obtidos encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Espessura do revestimento primário com MR de 300 MPa

CBR (%)	MR (MPa)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^2$ ) KPa	Esp. (cm)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^3$ ) KPa	Esp. (cm)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^4$ ) KPa	Esp. (cm)
2	20	50	27	38,71	32,00	31,58	36,00
3	30	75	23	58,06	28,00	47,37	32,00
4	40	100	20	77,42	25,00	63,16	29,00
5	50	125	18	96,77	22,00	78,95	26,00
6	60	150	17	116,13	21,00	94,74	24,00
7	70	175	16	135,48	19,00	110,53	22,00
8	80	200	15	154,84	18,00	126,32	21,00
10	100	250	13	193,55	16,00	157,89	19,00
12	120	300	11	232,26	14,00	189,47	17,00
15	150	375	10	290,32	12,00	236,84	15,00
20	200	500	10	387,10	10,00	315,79	12,00

Fonte: Autora (2015).

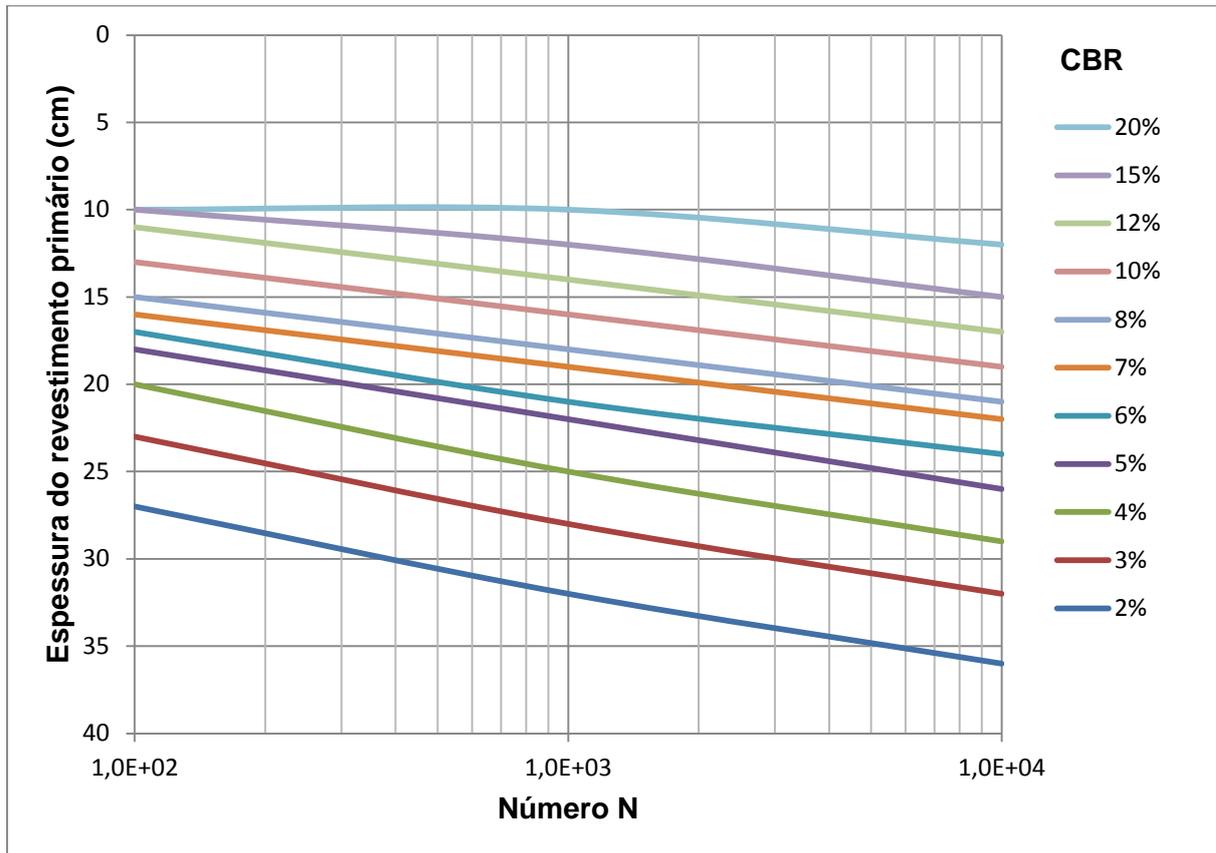
A partir dos resultados da Tabela 8, foi possível observar:

✓ A espessura da camada do revestimento primário tem variação de aproximadamente 63% entre o menor valor do CBR (2%) e o maior valor do CBR (20%) do subleito para o Número N de  $10^2$ , já N de  $10^3$  a variação é de aproximadamente 69% e para o N de  $10^4$  a espessura varia aproximadamente 67%, e

✓ Quando o módulo de resiliência (MR) do subleito assume valor de 150 MPa, com a mesma quantidade acumulada de eixos padrões equivalente a  $10^2$  para o MR do subleito de 200 MPa, a espessura da camada do revestimento primário nos dois casos permanece a mesma, ou seja, igual a 10 cm.

Na Figura 28, o ábaco que corresponde ao módulo de resiliência (MR) de 300 MPa para a camada do revestimento primário.

Figura 28 - Ábaco para dimensionamento do revestimento primário com MR de 300 MPa (CBR de 30%)



Fonte: Autora (2015).

#### 4.1.4 Resultados da espessura do revestimento primário para MR de 400 MPa

Quando o módulo de resiliência (MR) da camada do revestimento primário for de 400 MPa (equivalente a um CBR de 40%) e subleito com valores de CBR variando de 2% a 20%, possui os valores correspondentes a Tabela 9.

Tabela 9 – Espessura do revestimento primário com MR de 400 MPa

CBR (%)	MR (MPa)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^2$ ) KPa	Esp. (cm)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^3$ ) KPA	Esp. (cm)	$\sigma_{V adm}$ (Para o Número $N=10^4$ ) KPA	Esp. (cm)
2	20	50	24	38,71	28,00	31,58	32,00
3	30	75	21	58,06	25,00	47,37	29,00
4	40	100	19	77,42	22,00	63,16	26,00
5	50	125	17	96,77	20,00	78,95	24,00
6	60	150	16	116,13	19,00	94,74	22,00
7	70	175	14	135,48	18,00	110,53	21,00
8	80	200	13	154,84	17,00	126,32	19,00
10	100	250	12	193,55	15,00	157,89	17,00
12	120	300	10	232,26	13,00	189,47	16,00
15	150	375	10	290,32	11,00	236,84	14,00
20	200	500	10	387,10	10,00	315,79	11,00

Fonte: Autora (2015).

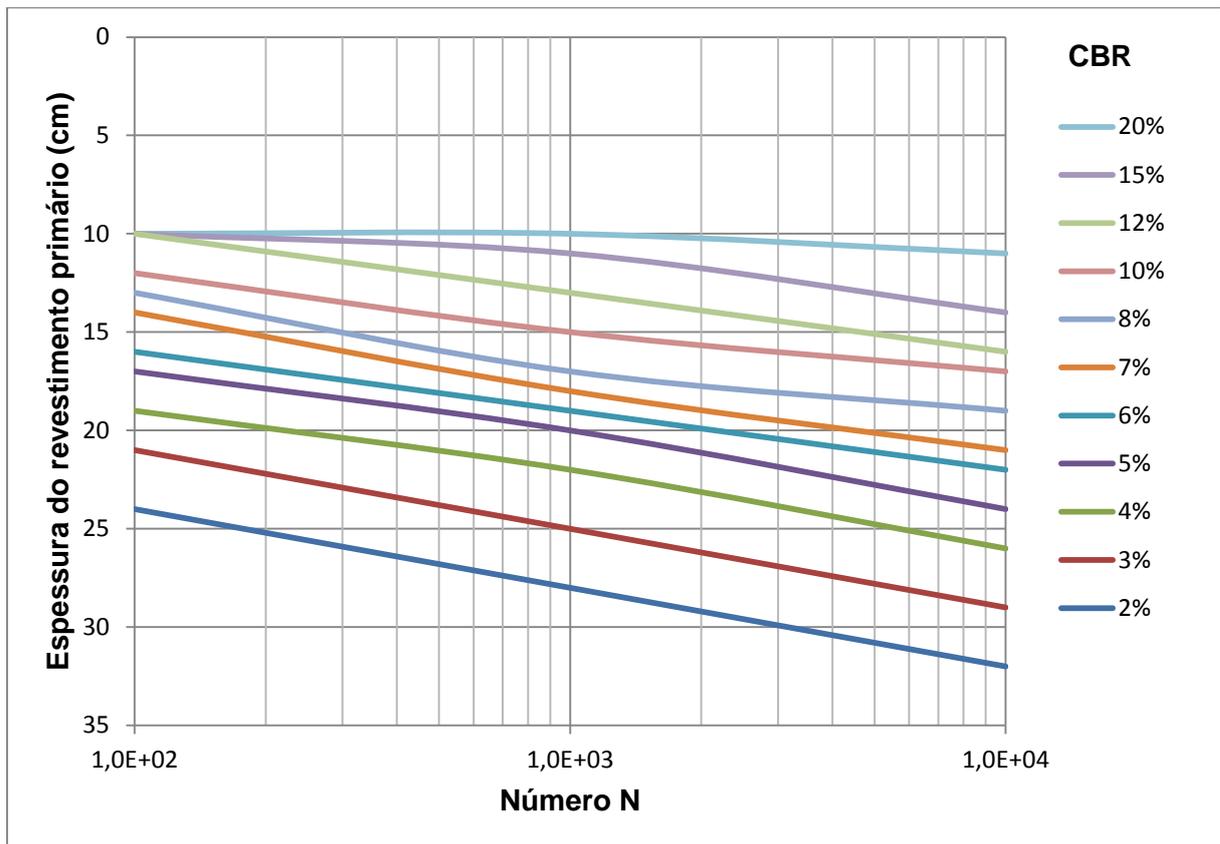
Com os resultados da Tabela 9, pode-se chegar a seguinte análise:

✓ Quando o módulo de resiliência (MR) do subleito assume valor de 120 MPa, com a mesma quantidade acumulada de eixos padrões equivalente a  $10^2$  para o MR do subleito de 150MPa e 200 MPa, a espessura da camada do revestimento primário nos três casos permanece a mesma, ou seja, igual a 10 cm, e

✓ A espessura da camada do revestimento primário possui variação de aproximadamente 59% entre o menor valor do CBR (2%) e o maior valor do CBR (20%) do subleito para um Número N de  $10^2$ , já N de  $10^3$  a variação é de aproximadamente 65% e para o N de  $10^4$  a espessura varia aproximadamente 66%.

Na Figura 29, visualiza-se o ábaco obtido a partir dos valor da Tabela 9, com módulo de resiliência de (MR) 400 MPa (equivalente a um CBR de 40%) para o revestimento primário e subleito com valores de CBR variando de 2% a 20%.

Figura 29 - Ábaco para dimensionamento do revestimento primário com MR de 400 MPa (CBR de 40%)



Fonte: Autora (2015).

Para as quatro análises observou-se o seguinte:

- ✓ A espessura da camada do revestimento primário depende do valor da tensão admissível no subleito, se essa tensão for baixa, a espessura da camada do revestimento primário será maior;
- ✓ Quanto maior o módulo de resiliência (MR) da camada do subleito e do revestimento primário, menor será a espessura da camada do revestimento primário, e
- ✓ O acúmulo de eixos padrões, aumenta a espessura da camada do revestimento primário.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal propor um método de dimensionamento para pavimentos com revestimento primário, tendo em vista que, atualmente existe uma enorme carência no Brasil de estudos e investimentos nesta área.

A partir das análises feitas, chegou-se a algumas conclusões, que serão apresentadas a seguir, além de aspectos que devem ser levados em conta quando trata-se de estradas com revestimento primário. Por último, será feito um breve comentário sobre possíveis pesquisas futuras.

Com os objetivos iniciais alcançados, pode-se concluir:

I. Foi realizada uma pesquisa e proposto um ábaco que facilitará o dimensionamento de estradas com revestimento primário sob o ponto de vista estrutural, porém, existem outras considerações que são importantes para este tipo de pavimento. Vislumbra-se a necessidade de técnicas adequadas para a construção, como por exemplo, a escolha adequada dos materiais, um bom sistema de drenagem que permite o escoamento das águas, o abaulamento adequado da plataforma e a realização de manutenções periódicas nestas vias, com o objetivo de aumentar sua vida útil.

II. Sugere-se sempre que na falta de estudos mais específicos, seja adotado o ábaco referente ao revestimento primário com Índice de Suporte Califórnia (CBR) de 20%, ou seja, deve-se utilizar o ábaco que considera o módulo de resiliência (MR) do revestimento primário igual a 200 MPa. Portanto, o ábaco que possui valor

de CBR igual a 10% para o revestimento primário, não é aconselhável. As espessuras encontradas para o mesmo recomenda a utilização de outros métodos de pavimentação, que poderiam comportar o mesmo volume de tráfego, porém, com espessuras inferiores.

III. Quanto maior o módulo de resiliência (MR) do revestimento primário e do subleito, menor poderá ser a espessura da camada do revestimento primário. Assim, se o MR do revestimento primário for de 200 MPa e de 70 MPa para o subleito, com Número N igual a  $10^2$ , a camada deverá ser de, aproximadamente, 18 cm. Se, por exemplo, para um Número N igual a  $10^2$ , o MR do revestimento primário for de 400 MPa e de 70 MPa para o subleito, a camada deverá ser de, aproximadamente, 14 cm.

Ainda, dentro deste tema, existem outras pesquisas que podem ser desenvolvidas. Para complemento do trabalho sugere-se:

I. Desenvolver ábacos para o revestimento primário com MR de 250, 350 e 450 MPa.

II. Descrever os modelos que tratam do comportamento resiliente dos materiais utilizados para pavimentação no Brasil.

III. Estudo de caso para aplicação do método criado.

IV. Elaborar um manual dos materiais que podem ser utilizados em pavimentações com revestimento primário.

V. Método que avalia os principais defeitos, suas possíveis causas e solução dos mesmos.

VI. Testar na prática vários trechos, com diferentes valores de espessura da camada do revestimento primário. Avaliar seu comportamento ao longo do tempo e realizar uma comparação com trechos que não seguem um estudo preliminar.

## REFERÊNCIAS

BAESSO, Dalcio Pickler; GONÇALVES, Fernando Luiz R.. **Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção**. Florianópolis, 2003. 204 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisas. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Conservação Rodoviária**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2005. 564p. Disponível em <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual%20de%20Conservacao%20Rodoviaria.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Conservacao%20Rodoviaria.pdf)> Acesso em 16 de out. de 2014.

BRASIL, Ministério dos Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **DNIT 2006 EM: manual de pavimentações**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual\\_de\\_Pavimentacao\\_Versao\\_Final.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf)> Acesso em: 16 de out. de 2014.

BRASIL, Ministério dos Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **DNIT 2006 EM: manual de estudo de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/manual\\_estudos\\_trafego.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf)> Acesso em: 16 de out. de 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Boletim Estatístico CNT Agosto de 2014**. Disponível em <[http://www.cnt.org.br/Paginas/Boletins\\_Detalhes.aspx?b=3](http://www.cnt.org.br/Paginas/Boletins_Detalhes.aspx?b=3)> Acesso em 16 de out. de 2014.

FERREIRA, Fábio Mutti. **Uma Aplicação Comparativa de Métodos de Avaliação das Condições Superficiais de Estrada Não-Pavimentada**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

FRANCO, Filipe Augusto Cinque de Proença. **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ, 2007.

FATTORI, Bernardo José. **Manual para manutenção de estradas de revestimento simples**. Trabalho de Diplomação (em Engenharia Civil) apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KELLER, Gordon; SHERAR, James. **Low-Volume Roads Engineering: Best Management Practices Field Guide**. Washington: US Agency For International Development (USAID), 2003. Disponível em: <[http://www.fs.fed.us/global/topic/sfm/low\\_resolution\\_roads\\_bmp\\_guide.pdf](http://www.fs.fed.us/global/topic/sfm/low_resolution_roads_bmp_guide.pdf)>. Acesso em: 08 out. de 2014.

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

MOREIRA, Flávio Eduardo Batista. **Um modelo de avaliação da evolução geométrica das patologias em vias não pavimentadas**: aplicação ao caso do Município de Aquiraz. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

NERVIS, Leandro Olivio. **Estudo de Revestimento Primário para Utilização em Estradas Vicinais da Região de Santana do Livramento – RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2010.

OLIVEIRA, Robson José de. **Uso de redes neurais artificiais na avaliação funcional de estradas florestais**. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 2008.

PARANÁ. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná - DER/PR. **DER/PR ES-T 07/05 Terraplenagem**: Revestimento Primário. Curitiba: Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná — DER/PR, 2005. Disponível em: <[http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/pdf\\_Terraplenagem/ES-T07-05RevestimentoPrimario.pdf](http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/pdf_Terraplenagem/ES-T07-05RevestimentoPrimario.pdf)>. Acesso em: 24 de out. de 2014.

PERAÇA, Vinicius. **Qualificando Solos para Revestimento Primário de Rodovias**: uma abordagem baseada na mecânica dos solos e dos pavimentos. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2007.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Rede Rodoviária** - Extensões totais em janeiro de 2014. Disponível em <<http://www.daer.rs.gov.br>> Acesso em 16 de out. de 2014.

SANTOS, Antónia Santiago Louro Santos. **Estabilidade de geomateriais em estradas não pavimentadas**. Propriedades relevantes e métodos de desenvolvimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2013.

SÃO PAULO. Secretaria dos Transportes. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo - DER/SP. **ET-DE-POO/013 Revestimento Primário**. São Paulo: Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo - DER/SP, 2006. Disponível em: <[ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-P00-013\\_A.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-P00-013_A.pdf)> Acesso em 24 de out. de 2014.

SILVA, Taciano Oliveira da; CARVALHO, Carlos Alexandre Braz de; LIMA, Dario Cardoso de; CALIJURI, Maria Lucia; MACHADO, Carlos Cardoso. **Influência do tráfego de veículos comerciais em rodovias vicinais não pavimentadas**: Estudo de caso aplicado à VCS 346, Viçosa, MG. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.35, n.3, p.539-545, abril 2011.

SKORSETH, Ken, et SELIM, Ali A. (2000). **Gravel Roads Maintenance and Design Manual**. South Dakota Local Transportation Program — SD LTAP, US Department of Transportation, Federal highway Administration — FHWA. Disponível em: <[http://water.epa.gov/polwaste/nps/upload/2003\\_07\\_24\\_NPS\\_gravelroads\\_gravelroads.pdf](http://water.epa.gov/polwaste/nps/upload/2003_07_24_NPS_gravelroads_gravelroads.pdf)>. Acesso em: 16 de out. de 2014.

THEISEN, Klaus Machado. **Estudo de parâmetros constitutivos extraídos de dados experimentais no comportamento de misturas asfálticas**. Tese (Doutorado em Engenharia) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2011.

YODER, Eldon, Joseph; WITCZAK, Matthew. **Principles of pavement design**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1975. 711p. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=UWBNPe6DeZ8C&oi=fnd&pg=PA3&ots=SYjsvYUgLv&sig=E156vlnND7-AA2hPi3OZ9FGdL4o&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=UWBNPe6DeZ8C&oi=fnd&pg=PA3&ots=SYjsvYUgLv&sig=E156vlnND7-AA2hPi3OZ9FGdL4o&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)> Acesso em: 01 de out. 2014.