MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DO REVESTIMENTO DAS ESTRADAS DE TERRA

Design method for road surface thickness of earth roads

Saul Barbosa Guedes*
Roberto Quental Coutinho**
António Viana da Fonseca***

RESUMO – No Brasil, verifica-se que grande parte da rede viária, 79,9% do total das rodovias, é composta por estradas não pavimentadas – "estradas de baixo-custo". Observa-se que parte do orçamento de gestão da rede rodoviária do país é utilizada na manutenção rotineira dessas estradas após periodos de chuva. Entretanto, estes gastos poderão ser minimizados pela construção de uma superfície de rolamento de baixo custo, resistente tanto às intempéries da região quanto aos esforços desenvolvidos pelo tráfego. A finalidade deste trabalho é divulgar o método de dimensionamento desenvolvido pelo Programa de Assistência ao Transporte Local de Dakota do Sul, nos EUA, para determinação da espessura do revestimento primário das estradas de terra, direcionando-o ao território Brasileiro. Com base no método, o projetista, para além de obter uma significativa redução dos custos da construção destas infraestruturas, pode também estimar com maior exatidão as ações de reparação da seção construída, durante o ciclo de vida da estrada, priorizando a durabilidade da mesma e reduzindo os custos de manutenção.

SYNOPSIS – In Brazil, a large extent of the road network, 79.9% of the total, consists of unpaved tracks – "low cost roads". A significant amount of the public budget for road management resources is used in the routine maintenance of these roads after rain periods. However, these high costs can be minimized by constructing a bearing surface with low cost investments, but resistant to regional weather actions, sometime stormy, as well as to the actions induced by traffic. The purpose of this work is to present the design method developed by the Local Transportation Assistance Program of South Dakota – USA, for determining the thickness of the primary coating of earth roads, and to adapt it to the Brazilian territory. Based on this method, besides obtaining a significant cost reduction in the construction of these road infrastructures, the designer can estimate with confidence the ideal timing for repair operations, during the road life cycle, giving priority to durability and reducing of the cost of maintenance.

PALAVRAS CHAVE – Estradas de Terra de Baixo-Custo, Dimensionamento, Revestimento Primário.

1 – INTRODUÇÃO

No Brasil, verifica-se que a grande extensão da rede viária, 79,9 % do total das rodovias, é composta por estradas não pavimentadas também chamadas "estradas vicinais", que são aquelas não revestidas por qualquer tipo de tratamento superficial (DNIT, 2011). Essas vias, além de serem responsáveis pelo acesso

* Pós-Doutorando, Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: saulbguedes@yahoo.com.br.
** Professor Associado 4, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: rqc@ufpe.br
*** Professor Associado com Agregação, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. E-mail: viana@fe.up.pt

dos moradores rurais aos serviços básicos como educação, saúde e lazer disponíveis nos grandes centros urbanos, são também responsáveis pelo escoamento da produção agropecuária.

Mesmo possuindo essa importante função para o bem estar, assim como para a economia do país, observa-se um descaso na construção e conservação dessas vias. Como consequências desses fatores percebem-se o aparecimento de certos problemas ambientais, sendo um dos principais a perda de solo e consequentemente o assoreamento de cursos d'água, devido ao surgimento de processos erosivos nessas estradas.

De acordo com Duque Neto (2004) o Brasil tem utilizado grande parte de seus recursos rodoviários na manutenção rotineira das estradas não pavimentadas com a repetição do patrolamento a cada novo período de chuva. Estes gastos poderão ser minimizados pela construção de uma superfície de rolamento de baixo custo e que seja ao mesmo tempo resistente às intempéries da região e aos esforços conduzidos pelo tráfego, ao invés de ficar esperando por elevados recursos necessários para implantação de um pavimento tradicional, que nem sempre é a necessidade da via em questão.

Para reduzir a necessidade de novos investimentos rodoviários tem-se procurado utilizar, cada vez mais, os solos disponíveis no leito da construção, com o intuito de diminuir os custos de transporte desses materiais. Entretanto, nem sempre os solos existentes, mesmo incorporados com outros (estabilização granulométrica), atendem às especificações e às exigências regionais. A utilização de materiais para revestimento primário de estradas de terra, mesmo atendendo a determinadas especificações técnicas, como por exemplo, critérios normativos de resistências mecânicas, torna-se ineficaz quando aqueles são aplicados sem critérios de dimensionamento.

Dessa forma, com vista a uma solução do problema, tem-se procurado determinar a espessura necessária do revestimento primário conforme critérios técnicos e econômicos, viabilizando a construção das estradas de baixo volume de tráfego, com eficiência, operacionalidade e menor custo de conservação.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Importância das estradas não pavimentadas

As estradas não pavimentadas conhecidas também como estradas de terra, estradas vicinais, estradas rurais ou estradas de chão, são uma necessidade básica para prover uma determinada localidade de um fluxo regular de mercadorias e serviços. Permitem o desenvolvimento das comunidades por elas servidas e por consequência garantem a melhoria de sua qualidade de vida.

De acordo com Baesso e Goncalves (2003) um substancial elenco de evidências constatado em vários países confirma o vital papel desempenhado pelas estradas rurais no desenvolvimento da agricultura, e, segundo os autores, estudos realizados pelo Banco Mundial no ano de 1993 concluíram que a implantação de melhoramentos na rede viária rural tem um efeito imediato não somente na redução do custo operacional de veículos como também permitem uma expansão dos serviços públicos nessas regiões. Com o resultado, constatou-se que a frequência escolar cresceu substancialmente e o acesso aos profissionais de saúde tornou-se bastante regular. Nos países em desenvolvimento e naqueles cuja economia experimenta períodos de transição, 60 a 80 % do transporte de passageiros e de carga utiliza-se da rede de estradas rurais. As mesmas proporcionam acesso à grande maioria das comunidades rurais.

Com base na importância desse tipo de estrada para o desenvolvimento de uma região, percebe-se notoriamente que as mesmas devem permanecer com suas superfícies de rolamento em boas condições de trafegabilidade durante todas as épocas do ano.

2.2 – Elementos necessários para melhorar o desempenho de uma estrada vicinal

Para uma estrada de terra obter maior durabilidade e proporcionar boas condições de trafegabilidade durante todas as estações do ano, as mesmas devem conter alguns elementos; são eles:

– Acostamento (faixa lateral): consiste num espaço adjacente às faixas de tráfego que é destinado à parada emergencial de veículos, não sendo em geral dimensionado para suportar o trânsito de veículos, que pode ocorrer em caráter esporádico.

– Plataforma: é a porção da estrada compreendida entre as bordas externas dos acostamentos, acrescidas das sarjetas e/ou larguras adicionais, conforme se trate de seções de corte, de aterro ou mistas.

– Saia do aterro: consiste na superfície (geralmente inclinada) que resulta da conformação de uma seção de aterro; a interseção dessa superfície com o terreno natural é denominada "pé do aterro", sendo sua interseção com a plataforma denominada "crista de aterro".

– Sarjeta: consiste num dispositivo de drenagem superficial que tem o objetivo de coletar as águas da superfície, conduzindo-as longitudinalmente para fora da estrada.

– Valeta de proteção de corte: é definida como sendo um dispositivo de drenagem superficial disposto a montante das seções de corte, cujo objetivo é interceptar as águas superficiais que correm em direção à rampa do corte, conduzindo-as longitudinalmente para fora das seções de corte. Geralmente são pequenas valas simplesmente cavadas no terreno natural, sendo o material resultante da escavação depositado a jusante da valeta, construindo um pequeno dique denominado "banqueta de proteção do corte" que tem como objetivo servir como barreira para prevenção quanto a eventuais extravasamentos da valeta.

– Superfície de rolamento: é definida como sendo o espaço dimensionado e destinado à passagem de um veículo por vez em cada sentido, que pode ser revestida ou não, cujas larguras são ajustadas para as dimensões de roda/eixo dos veículos de projeto.

Com os dispositivos citados, contribui-se para a diminuição do grau de severidade de vários tipos de defeitos existentes ou até mesmo evitar o aparecimento dos mesmos. Os defeitos que uma estrada de terra pode apresentar são: areiões, atoleiro, buracos, corrugações, drenagem inadequada, erosão, excesso de pó, rocha aflorante, segregação de agregados (perda de agregados), seção tranversal inadequada e afundamento de trilha de roda.

2.3 – Técnicas e materiais utilizados para construção da superfície de rolamento de uma estrada não pavimentada

Na maioria dos casos, apesar da construção dos dispositivos citados, para melhorar a durabilidade da superfície de rolamento e garantir condições de trafegabilidade satisfatória, faz-se necessário a construção de um revestimento primário, que consiste em uma camada de material colocada sobre o reforço do subleito ou diretamente sobre este, obtida pela compactação de uma mistura (natural ou preparada) de material argiloso com material granular (na proporção em torno de 1,0 de argila para 2,5 de material granular) de espessura variando entre 10,0 e 20,0 cm (Santos *et al.*, 1985).

O material argiloso atua como ligante e regularizador da superfície final de rolamento, enquanto o material granular, cuja dimensão máxima ideal dos grãos é de aproximadamente 2,50 cm, serve para aumentar o atrito da pista com as rodas dos veículos.

De acordo com o Departamento de Estradas do Estado de Dakota do Sul – USA, para que a camada de revestimento primário seja composta por uma composição granulométrica recomendada para a respectiva aplicação, a mesma deve admitir as características detalhadas no Quadro 1.

Outras duas técnicas existentes que servem para minimizar os eventuais defeitos que podem surgir na superfície de rolamento de uma estrada não pavimentada consistem na construção do agulhamento e do encascalhamento.

Quadro 1 – Faixa granulométrica de materiais para revestimento primário (Fonte: South Dakota Local Transportation – US citado por Baesso e Gonçalves, 2003).

Peneiras	3/4"	Nº 4	Nº 8	Nº 40	Nº 200
Aberturas	19,1 mm	4,8 mm	2,4 mm	0,42 mm	0,075 mm
% Passando	100	50 - 78	37 - 67	13 - 35	4 - 15
Índice de Plasticidade (IP): 4 - 12 (%)					

O agulhamento é definido como sendo a cravação, por compactação, de material granular grosseiro diretamente no subleito, se este for argiloso, ou sobre uma camada argilosa colocada sobre o subleito. O encascalhamento consiste no simples lançamento de material granular sobre o leito da estrada.

As técnicas citadas para melhorar a durabilidade da superfície de rolamento, contra a ação das intempéries e dos esforços produzidos pelo tráfego, de maneira geral apresentam as seguintes desvantagens:

– pouca durabilidade;

– baixa eficiência técnica;

– forte impacto ambiental, pois, tanto na fase de construção quanto na de manutenção, é necessária a exploração de jazidas para extração de materiais;

– custo elevado, devido aos gastos com a compra dos materiais e com o transporte dos mesmos;

– ausência de critérios de dimensionamento para determinar a espessura necessária do revestimento.

Por meio da Figura 1 ilustram-se exemplos da ineficiência das técnicas citadas quando aplicadas na estrada que dá acesso ao monumento histórico conhecido por Forte Castelo do Mar que está inserido numa área de preservação ambiental pertencente ao Parque Metropolitano Armandio de Holanda Cavalcanti (PMAHC) localizado no município do Cabo de Santo Agostinho, distante 41 km da cidade do Recife/Pernambuco-Brasil.

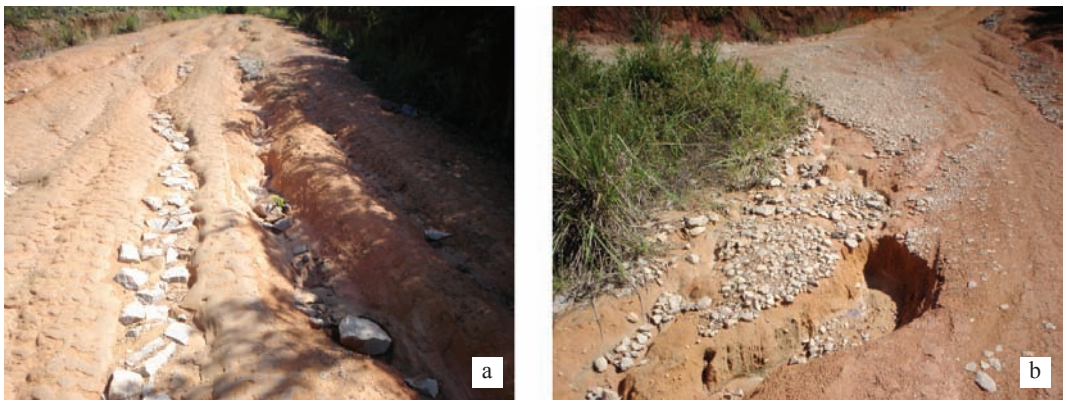


Fig. 1 – a) Agulhamento; b) Encascalhamento.

Com o intuito de eliminar as desvantagens das técnicas citadas anteriormente, um projeto de pesquisa foi implantado e teve como objetivo geral desenvolver uma metodologia de melhoramento da superfície de rolamento das estradas de terra, existentes na área do PMAHC, com base na melhoria das características mecânicas do próprio solo do subleito por meio da incorporação de dois produtos, o cimento Portland e as fibras de polipropileno, aliado ao emprego de um método de dimensionamento de espessura de revestimento primário de estradas não pavimentadas, desenvolvido pela instituição governamental americana FHWA *(Federal Highway Administration)*. Neste trabalho apresenta-se o método de dimensionamento adotado pelos autores do presente estudo para determinação da espessura necessária do revestimento primário.

2.4 – Métodos de dimensionamento da espessura do revestimento primário

A literatura rodoviária existente no país é bastante carente de elementos que permitam aos técnicos do setor estabelecer com mais propriedade as espessuras de revestimento primário necessárias a atender a demanda por tráfego, levando em consideração, por exemplo, parâmetros que possam proporcionar maior confiabilidade ao lidarem com estradas apresentando as mais variadas características (Baesso e Gonçalves, 2003).

Com base na escassez nacional de métodos para dimensionamento da espessura adequada de camadas de revestimento primário para estradas não pavimentadas, recorreu-se à literatura estrangeira, onde foi encontrado um manual pertencente à instituição governamental americana FHWA, divulgado em novembro de 2000, versando sobre a manutenção e projeto de estradas rurais não pavimentadas, intitulado "Gravel Road Thickness Design Methods".

No citado manual existem três métodos de dimensionamento, dos quais, os autores do presente artigo recomendam a utilização de apenas um, o qual foi desenvolvido pelo Programa de Assistência ao Transporte Local de Dakota do Sul (SD – LTAP). O referido método diferencia dos demais por estabelecer parâmetros relativamente complexos e apurados para determinação das espessuras mais apropriadas para o revestimento primário. O método leva em consideração, por exemplo, demandas de tráfego futuro na estrada, módulo resiliente dos materiais utilizados, corrugações permissíveis e perda de agregados na mistura do revestimento, entre outros.

Os métodos de dimensionamento contidos no manual são descritos nos pontos que se seguem.

2.4.1 – Método de dimensionamento 1

O presente método determina a espessura necessária do revestimento primário que se deve colocar sobre o subleito da estrada em função de três parâmetros: o primeiro parâmetro relaciona-se com o nível de solicitação do eixo padrão (eixo simples de roda dupla com carga de 18 000 libras = 8,20 tf); o segundo relaciona-se as seis condições climáticas existentes nas regiões Norte Americana; o terceiro parâmetro refere-se a qualidade do solo do subleito.

Os níveis de tráfego são definidos em função do número de solicitações do eixo padrão, caracterizados, portanto, da seguinte maneira:

– Tráfego Alto – 60 000 a 100 000 solicitações do eixo padrão;

– Tráfego Médio – 30 000 a 60 000 solicitações do eixo padrão;

– Tráfego Baixo – 10 000 a 30 000 solicitações do eixo padrão.

De acordo com Baptista (1980) as qualidades dos solos do subleito encontram-se relacionadas com o índice de suporte Califórnia (CBR - *Califórnia Bearing Ratio*), da seguinte forma:

– Solo Muito Bom – CBR $\geq$ 30%

– Solo Bom – 20% $\leq$ CBR $\leq$ 30%;

– Solo Regular – 10% ≤ CBR ≤ 20%;

– Solo Fraco – 5% ≤ CBR ≤ 10%;

– Solo Muito Fraco – CBR ≤ 5%.

Em se tratando das condições climáticas existentes nas seis regiões dos Estados Unidos, as mesmas são caracterizadas de maneira seguinte (Skorseth e Selim, 2000):

– Região I – Clima úmido, sem gelo;

– Região II – Clima úmido, com ciclo de gelo e desgelo;

– Região III – Clima úmido com gelo intenso, descongelando na primavera;

– Região IV – Clima seco, sem gelo;

– Região V – Clima seco, com ciclo de gelo e desgelo;

– Região VI – Clima seco, com gelo intenso, descongelando na primavera.

No Quadro 2 encontram-se as espessuras mínimas necessárias a serem utilizadas como revestimento primário em função dos parâmetros descritos.

Quadro 2 – Espessuras (cm) de agregados para camadas de revestimento primário (Skorseth e Selim, 2000).

Qualidade do Solo do Subleito	**Nível do Tráfego**	**Regiões Climáticas dos Estados Unidos**					
		I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
Muito Bom	Alto	20	25	38	18	23	38
	Médio	15	20	28	13	18	28
	Baixo	10		15	10		15
Bom	Alto	28	30	43	25	28	43
	Médio	20	23	30	18	23	30
	Baixo	10	13	18	10	13	18
Regular	Alto	33	35	43	30	33	43
	Médio	28		30	25		30
	Baixo	15		18	13		18
Fraco	Alto	15		18	13		18
	Médio				38		
	Baixo	23	25	23	20		23
Muito Fraco	Alto	23	25	23	20		23
	Médio						
	Baixo	28	28	25			

2.4.2 – Método de dimensionamento 2

Este método é utilizado em algumas regiões do estado de Dakota do Sul. O método é considerado bastante simples por utilizar apenas dois parâmetros para determinar a espessura do revestimento primário, o volume estimado de veículos pesados trafegando diariamente na estrada e a capacidade de suporte do subleito, obtida pelo método do índice de suporte Califórnia. No Quadro 3 detalha-se o método citado por Skorseth e Selim, Skorseth e Selim (2000).

Quadro 3 – Espessuras (cm) de agregados para camadas de revestimento primário (Skorseth e Selim, 2000).

Volume Estimado de Veículos Pesados Diariamente	CBR do Subleito (%)	Espessura Sugerida (cm)
0 a 5	≤ 3	16,5
	3 < CBR ≤ 10	14,0
	CBR > 10	11,5
5 a 10	≤ 3	21,5
	3 < CBR ≤ 10	18,0
	CBR > 10	14,0
10 a 25	≤ 3	29,0
	3 < CBR ≤ 10	23,0
	CBR > 10	18,0
25 a 50	≤ 3	37,0
	3 < CBR ≤ 10	29,0
	CBR > 10	21,5

2.4.3 – Método de dimensionamento 3

O presente método de dimensionamento de revestimento de estrada de terra foi desenvolvido pelo Programa de Assistência ao Transporte Local de Dakota do Sul (SD – LTAP). Este método encontra-se inserido no Apêndice – A do Manual de Dimensionamento e Manutenção de Estradas de Terra do Departamento de Transporte dos Estados Unidos (Skorseth e Selim, 2000).

Por meio do presente método de dimensionamento, o projetista pode estimar a quantidade de materiais necessários para a construção de uma seção da estrada. Além de obter o orçamento da construção, o projetista, com base nas condições estabelecidas no projeto, pode também estimar o período necessário para que ocorra a manutenção da seção construída, priorizando dessa maneira a durabilidade da mesma assim como a redução no seu custo de manutenção.

O método leva em consideração: futuro tráfego previsto, módulo resiliente do subleito e das camadas de base e sub-base, efeitos da duração do clima na região, perda de serventia da superfície da estrada, condição admissível da superfície da mesma e perda de agregado da superfície da estrada.

Um exemplo do dimensionamento utilizando o método proposto encontra-se no tópico a seguir.

3 – MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO PROPOSTO PARA DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DO REVESTIMENTO PRIMÁRIO NAS ESTRADAS DE TERRA

De modo geral, vários fatores são considerados influentes na durabilidade de um revestimento primário, os principais fatores são:

a) Carga por eixo;

b) Característica dos agregados da superfície (materiais utilizados);

c) Drenagem subterrânea;

d) Congelamento e desgelo;

e) Propriedades mecânicas do subleito;

f) Alterações de umidade;

g) Módulo de resiliência dos materiais.

Dentre os fatores citados, o fator carga por eixo é considerado de extrema importância para o método de dimensionamento proposto. No presente método, considera-se que os automóveis de passeio e os caminhões leves (por exemplo, ônibus e utilitários) possuem pouca influência na determinação da espessura, pois provocam pouco dano na estrutura de um pavimento devido às baixas pressões desenvolvidas pelos pneus dos mesmos em contato com a superfície da estrada.

3.1 – Detalhes dos fatores de influência existentes no método proposto

Para um melhor entendimento do método de dimensionamento, é necessário que o projetista conheça os seguintes termos:

3.1.1 – Futuro tráfego previsto – FTP

Todo pavimento é dimensionado para suportar um determinado número de solicitações em sua estrutura provocada pelas passagens dos veículos durante um período de tempo estabelecido de projeto. Devido à presença de um tráfego misto na estrada, ou seja, automóveis de passeio, utilitários, ônibus, caminhão, carreta, etc., o acúmulo do volume de tráfego deve ser representado por um eixo equivalente de carga.

O eixo equivalente de carga, estabelecido pela AASHTO *(American Association of State Highway and Trasnportation Officials),* adotado também no Brasil, conhecido como eixo padrão rodoviário, consiste em um eixo simples de rodas duplas (Figura 2) com as seguintes características:

– Carga por Eixo (P): 18 Kips = 8165 Kgf;

– Carga por roda (P/4): 4,5 Kips = 2041 Kgf;

– Pressão de Enchimento dos Pneus (p): 80 lb/Pol^2 = 549 kPa;

– Pressão de Contato Pneu-Pavimento (q): 80 lb/Pol^2 = 549 kPa;

– Raio da Área de Contato Pneu-Pavimento (r): 0,108 m;

– Afastamento entre Pneus por Roda (s): 0,324 m.

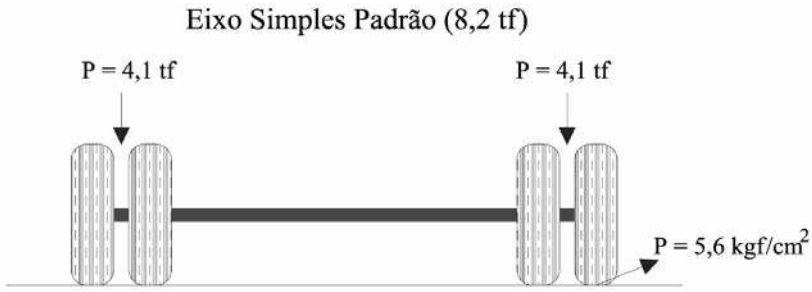


Fig. 2 – Exemplo do eixo padrão rodoviário.

3.1.2 – Módulo resiliente do subleito – MRS

Todo material apresenta alguma deformação quando submetido a um estado de tensão. A relação entre a tensão e a deformação pode ser expressa como módulo de resiliência quando a carga é repetida.

Define-se como módulo de resiliência (MR) a relação entre a tensão desvio aplicada axial e ciclicamente em um corpo de prova e a correspondente deformação específica vertical recuperável ou elástica conforme a expressão seguinte:

$$MR = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \tag{1}$$

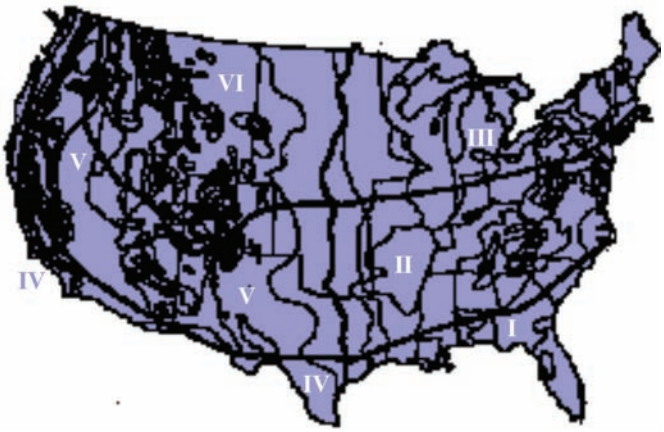
onde:

$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ = tensão desvio aplicada repetidamente no eixo axial;
σ_1 = tensão principal maior;
σ_3 = tensão principal menor ou tensão de confinamento;
$\sigma_3 = \delta_r/L$ deformação específica axial resiliente (recuperável ou elástica);
δ_r = deslocamento recuperável;
L = altura do corpo de prova submetido às tensões.

3.1.3 – Efeitos da duração do clima na região – EDCR

Clima é um conjunto de fenômenos meteorológicos que caracteriza, durante um longo período, o estado médio da atmosfera e sua evolução em determinado lugar. Portanto, clima é o resultado de uma combinação de nebulosidade, umidade, temperatura, vento, pressão barométrica, etc. (Medina e Motta, 2005).

Um dos fatores que afeta o desempenho de um pavimento é a duração de um determinado tipo de clima. Como exemplo, na Figura 3 ilustra-se como os Estados Unidos encontra-se dividido em seis diferentes regiões climáticas.



– Região I – Clima úmido, sem gelo;
– Região II – Clima úmido, com ciclo de gelo e desgelo;
– Região III – Clima úmido com gelo intenso, descongelando na primavera;
– Região IV – Clima seco, sem gelo;
– Região V – Clima seco, com ciclo de gelo e desgelo;
– Região VI – Clima seco, com gelo intenso, descongelando na primavera.

Fig. 3 – As seis regiões climáticas existentes nos Estados Unidos da América (Skorseth e Selim, 2000).

Baseando-se nas diferentes características climáticas existentes nos EUA o Quadro 4 foi desenvolvido contendo o tempo de duração, em meses, das quatro estações do ano e a condição correspondente em que se encontra o subleito da estrada.

Quadro 4 – Período de duração das estações do ano para cada região climática existente nos EUA (Skorseth e Selim, 2000).

Estações do Ano com as Respectivas Condições do Subleito				
Regiões Climáticas	**Inverno (Subleito Congelado)**	**Primavera/Desgelo (Subleito Saturado)**	**Primavera/Outono (Subleito Seco)**	**Verão (Subleito Úmido)**
I	0,0	0,0	7,5	4,5
II	1,0	0,5	7,0	3,5
III	2,5	1,5	4,0	4,0
IV	0,0	0,0	4,0	8,0
V	1,0	0,5	3,0	7,5
VI	3,0	1,5	3,0	4,5

Nota - os números representam o período de duração da estação em meses por ano.

No Quadro 5 encontram-se as qualidades atribuídas ao solo do subleito em função dos valores dos módulos de resiliência sazonais obtidos para cada sequência de estações do ano.

Quadro 5 – Qualidade relativa do solo do subleito (Skorseth e Selim, 2000).

Qualidade Relativa do Solo do Subleito	Inverno (Subleito Congelado)	Primavera/Desgelo (Subleito Saturado)	Primavera/Outono (Subleito Úmido)	Verão (Subleito Seco)
Muito Bom	20 000	2500	8000	20 000
Bom	20 000	2000	6000	10 000
Razoável	20 000	2000	4500	6500
Ruim	20 000	1500	3300	4900
Muito Ruim	20 000	1500	2500	4000

Nota - os valores de módulos de resiliência encontram-se em psi, onde: 1 psi ≈ 6894,8 Pa.

3.1.4 – Módulo de resiliência dos materiais das camadas de base (E_{Base}) e sub-base ($E_{Sub-Base}$)

É importante lembrar que, em estudos já relatados, na caracterização resiliente obtida em laboratório, alguns fatores influenciam na obtenção do MR de materiais granulares tais como: tensões, grau de compactação, granulometria, umidade, tipo do agregado e forma da partícula, história das tensões e o número de ciclo de cargas, duração, freqüência e seqüência da carga aplicada (Preussler, 1983).

O estado de tensões é um dos fatores que mais influem no comportamento resiliente dos materiais granulares. Modelos matemáticos que melhor representam a dependência do MR ao estado de tensões atuante para materiais granulares são definidos principalmente em função das tensões confinantes (σ_3) ou da soma das tensões principais ($\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$).

3.1.4.1 – Modelo: $k - \sigma_3$

Este modelo relaciona o módulo de resiliência com a tensão confinante, uma vez que o MR aumenta com a pressão confinante e é pouco influenciado pela tensão desvio.

$$MR = k_1.\sigma_3^{k_2} \tag{2}$$

onde:

σ_3 = pressão confinante;
k_1 e k_2 = coeficientes de regressão; derivados de resultados de ensaios em laboratório e dependem do tipo de material e das propriedades físicas da amostra durante o ensaio.

3.1.4.2 – Modelo: $k - \theta$

Este modelo relaciona o módulo de resiliência de materiais granulares ao somatório das tensões principais. Propõe relacionar o módulo de resiliência com o primeiro invariante de tensões.

$$MR = k_1'.\theta^{k_2'} \tag{3}$$

onde:

θ = primeiro invariante das tensões sob máxima tensão desvio, no caso de compressão triaxial, ou seja, $\theta = \sigma_1 + 2.\sigma_3$;

k_1' e k_2' = são coeficientes de regressão.

Na maioria dos procedimentos de dimensionamento, o modelo k-θ é o mais usado internacionalmente, por utilizar o somatório das tensões. Porém, no Brasil, o modelo k-σ_3 é o mais utilizado por apresentar um coeficiente de correlação (R^2) elevado, próximo de um. O coeficiente de correlação (R^2) é obtido através de regressão linear.

3.1.5 – Perda de serventia da superfície da estrada – PS

No presente contexto, serventia é definida como sendo uma condição de conforto ao rolamento que um trecho de estrada fornece aos seus usuários. A utilidade deste parâmetro é indicar a condição em que se encontra atualmente a estrada por meio de valores estabelecidos, os quais determinam a necessidade da realização de uma manutenção ou não na superfície do pavimento.

A perda de serventia é o principal critério para determinar a necessidade de uma manutenção, podendo admitir valores entre 0 e 5, onde o valor 0 indica que no estado em que se encontra a estrada é impossível dirigir, enquanto o valor 5 indica que a estrada encontra-se em perfeita condição de tráfego.

O menor valor de PS que um motorista pode tolerar, antes da degradação total da superfície da estrada, é chamada de Serventia Terminal (ST).

Os valores comumente adotados para a serventia terminal são ST = 2,5 ou superior quando utilizada para projeto de rodovias principais, e ST = 2,0 quando utilizada para estradas de baixo volume (Skorseth e Selim, 2000).

De acordo com Skorseth e Selim (2000) o nível mínimo de serventia depende do critério de aceitação da maioria dos usuários. Existem alguns valores de ST, que foram estabelecidos a partir de testes desenvolvidos pela AASHTO, esses valores encontram-se no Quadro 6.

Quadro 6 – Relação entre nível de serventia terminal (ST) e aceitações de usuários (Skorseth e Selim, 2000).

Nível de Serventia Terminal (ST)	3,0	2,5	2,0
Porcentagens de Pessoas Afirmando Inaceitável	12%	55%	85%

Para pequenas rodovias não pavimentadas, onde a agricultura é o fator principal da economia, o dimensionamento deve ser realizado levando em consideração a redução do tráfego ou o tempo de durabilidade da superfície da estrada, em vez de reduzir o nível de serventia terminal de um número menor do que 2.

3.1.6 – Condições admissíveis da superfície da estrada – CASE

Uma forma de avaliar a qualidade da superfície de rolamento de uma estrada de terra baseia-se nas altas velocidades usadas pelos condutores. Se as trepidações, desenvolvidas pela formação de ondulações ao longo das trilhas das rodas nas estradas, forem elevadas, torna-se difícil o controle do veículo. Em geral certa quantidade de trepidações é tolerável sem causar qualquer risco ou perigo aos usuários da via. Dessa maneira, o projetista responsável pelo dimensionamento da estrutura da estrada deve decidir uma profundidade admissível das ondulações. O valor típico admissível que uma ondulação deve possuir, em uma estrada de terra, deve estar contido entre 1,0 (0,025 m) e 2,0 (0,050 m) polegadas de profundidade (Skorseth e Selim, 2000).

3.1.7 –Perda de agregado da superfície da estrada – PASE

É inevitável a perda de agregado na superfície de uma estrada de terra. A perda de agregados é provocada por fatores tais como a ação desagregadora produzida pelo atrito dos pneus dos veículos em contato com a superfície da estrada, erosão, precipitação (efeito *splash*), etc. A ação desses fatores leva à rápida deterioração da superfície da estrada. Assim, esta perda de agregados deve ser tida em consideração durante o projeto de dimensionamento da mesma, sendo importante estimar a espessura total perdida durante o período de vida útil estabelecido em projeto.

3.2 – Exemplo do dimensionamento da espessura do revestimento primário

Para um melhor entendimento do presente método de dimensionamento, o mesmo será apresentado através de um exemplo dividido em 10 etapas.

Para calcular a espessura total de material a ser colocado sobre o subleito, o método adota um critério de tentativa e erro. Inicialmente adota-se uma espessura, em seguida, com base no comportamento mecânico (modulo de resiliência do subleito e dos materiais de base e sub-base) dos materiais a serem utilizados, das condições climáticas atuantes na região (período de duração das quatro estações do ano) e de determinadas condições requeridas pelo próprio modelo do método (futuro tráfego previsto, perda de serventia, condições admissíveis da superfície e perda de agregado da superfície), é simulada a influência desses fatores na estrutura do pavimento a ser construído, e logo em seguida, verificado o grau de deterioração da mesma.

Se o grau de deterioração do pavimento admitir valores menores que 100%, durante o período de vida útil determinado (12 meses), isto indica que a estrutura do pavimento foi superdimensionada, pois, para as condições estabelecidas no projeto, o pavimento não obteve uma degradação julgada suficiente para exigir manutenção, ou seja, não sofreu degradação total (100%) de modo que fosse necessário realizar um reparo na superfície (revestimento primário) da estrada.

Caso o grau de deterioração do pavimento admita valores maiores que 100% durante o periodo de vida útil, a estrutura do pavimento foi subdimensionada, ou seja, para as condições estabelecidas no projeto, o pavimento teve uma degradação prematura, a qual requer necessidade de manutenção na superficie da estrada antes do periodo estabelecido de projeto (12 meses).

Por último, sendo o grau de deterioração do pavimento igual a 100%, isto indica que a estrutura do pavimento foi corretamente dimensionada, pois, para as condições estabelecidas no projeto, o pavimento obteve uma degradação julgada suficiente, para que ao final do período de vida útil estabelecido, haja uma necessária atividade de manutenção. Portanto, a espessura que admitir um grau de deterioração de 100% é definida como espessura de projeto.

A seguir descrevem-se as etapas do método de dimensionamento proposto por meio da realização de um exemplo detalhado no Apêndice A do manual Gravel Roads (Skorseth e Selim, 2000). O exemplo descrito é realizado com uma das regiões climáticas existente nos EUA.

3.2.1 – Exemplo

Determine a espessura necessária de uma base de material a ser colocado sobre o subleito de uma estrada não-pavimentada de modo que a mesma funcione como revestimento primário.

Adote o método desenvolvido pelo Programa de Assistência ao Transporte Local de Dakota do Sul, disposto no Apêndice – A do Manual de Dimensionamento e Manutenção de Estradas de Terra do Departamento de Transporte dos Estados Unidos (Skorseth e Selim, 2000).

Os dados fornecidos ao projetista são:

1) Futuro tráfego previsto: FTP = 35 000 (número de repetições do eixo padrão);

2) Qualidade relativa do solo do subleito: MRS = Bom (em relação aos valores dos módulos de resiliência estimados para as quatro estações do ano, obtido na segunda linha do Quadro 5);

3) Módulo de resiliência do material a ser utilizado como base: E_{Base} = 25 000 psi = 172,37 MPa;

4) Módulo de resiliência do material a ser utilizado como sub-base: $E_{Sub\text{-}Base}$ = 15 000 psi = 103,42 MPa;

5) Região climática dos Estados Unidos onde será construído o pavimento: Região VI (Clima seco, com gelo intenso, descongelando na primavera).

3.2.2 – Solução

3.2.2.1 – Passo 1: Adotar uma espessura inicial para a camada de base

A espessura final de projeto será obtida por meio de tentativas, portanto, no processo de cálculo espessuras serão atribuídas. Cada espessura irá resultar em uma resposta, do tipo ponto, que será plotado com os demais para formar uma curva do tipo: *Danos Totais versus Espessura de Base*. Quanto maior a quantidade de pontos (com o número mínimo de quatro pontos o dimensionamento é considerado satisfatório) melhor será o ajuste da curva, conseqüentemente mais preciso será o dimensionamento.

Neste exemplo, adotaram-se cinco espessuras, 10, 11, 12, 13 e 14 pol, ou seja, 0,25, 0,28, 0,30, 0,33 e 0,36 m, para a base, as quais foram suficientes para determinar a espessura de projeto.

Utiliza-se um modelo padrão de tabela, que armazenará todos os dados dos parâmetros a serem utilizados.

3.2.2.2 – Passo 2: Adotar dois valores padrão para PS e CASE.

Adota-se um valor para a perda de serventia da superfície da estrada (PS) e outro para a condição admissível da superfície da mesma (CASE).

No presente exemplo, os valores adotados para os parâmetros citados foram:

– Perda de serventia da superfície da estrada: PS = 2,0;

– Condição admissível da superfície da estrada: CASE = 2,0 pol = 0,05 m.

3.2.2.3 – Passo 3: Obter módulos de resiliência do subleito e camada de base.

a) O primeiro parâmetro está relacionado com a determinação dos módulos sazonais de resiliência do subleito ($MR_{Subleito}$), obtidos em função da qualidade relativa do solo do subleito, diante da variação de umidade, para cada estação do ano. Com base nos dados fornecidos de projeto ($MR_{Subleito}$ = Bom), e fazendo uso do Quadro 5, obtêm-se, portanto, os valores dos módulos sazonais de resiliência.

b) O segundo parâmetro a ser obtido consiste no módulo de resiliência do material da camada de base, (MR_{Base}) o qual também foi fornecido nos dados de projeto. Os valores encontrados para os parâmetros citados são:

– MRS = BOM – Quadro 5: inverno (MR = 20 000 psi = 138 MPa); primavera/desgelo (MR = 2000 psi = 13,8 MPa); primavera/outono (MR = 6000 psi = 41,4 MPa) e verão (MR = 10 000 psi = 68,9 MPa);

– MR_{Base} = 25 000 psi = 172,4 MPa.

Nos países tropicais, como o Brasil, o módulo resiliente dos materiais de base e sub-base deve ser obtido no laboratório conforme norma específica (DNER-ME 131/94), e os corpos de prova devem encontrar-se nas condições prováveis de campo (saturado, parcialmente saturados, etc.).

3.2.2.4 – Passo 4: Determinar o tráfego sazonal de veículos

O tráfego sazonal estimado de veículos é calculado em função do número total de solicitações do eixo padrão rodoviário (N), no período doze meses, e do tempo de duração de cada estação do ano, na região onde se localiza a estrada. O cálculo é realizado da seguinte maneira:

a) Primeiramente, estima-se o número total de solicitações do eixo padrão durante o período de um ano (futuro tráfego previsto – FTP) na estrada. No presente exemplo, o valor estimado foi de FTP = 35 000. Este valor pode ser determinado pelo método típico de determinação do valor N.

b) Em seguida, com base no tempo de duração (em meses) das estações climáticas atuantes na região, divididas pelo número de meses do ano, obtêm-se a proporção de duração da estação de maneira anual. Neste exemplo, a região climática escolhida foi a Região VI (Clima seco, com gelo intenso, descongelando na primavera), com período de duração das estações no Quadro 4.

c) Por último, de posse dos parâmetros citados, realiza-se a multiplicação do FTP para cada período de duração das estações (ver Quadro 7).

Quadro 7 – Cálculo do tráfego sazonal.

Estação	Inverno	Primavera/Desgelo	Primareva/Outono	Verão
Tráfego Szonal	35 000 × (3/12) = 8750	35 000 × (1,5/12) = 4375	35 000 × (3/12) = 8750	35 000 × (4,5/12) = 13 125

3.2.2.5 – Passo 5: Estimar o número permitido de solicitações do eixo padrão (Figura 4)

O quinto passo consiste em determinar o número permitido de solicitações do eixo padrão rodoviário (N), antes da necessidade da atividade de manutenção, para cada período de estação, levando em consideração o parâmetro perda de serventia da superfície da estrada (PS).

Para determinação do número $N_{Admissível}$ em função do parâmetro PS, realiza-se a seguinte seqüência de operação: 1) espessura da camada de base → 2) módulo de resiliência do material da camada de base (E_{Base}) → 3) módulo de resiliência sazonal do subleito ($MR_{Subleito}$) → 4) perda de serventia da superfície da estrada (PS) → 5) número de solicitação estimado antes da necessidade de manutenção. Para valores de N maiores do que 400 000 assumir o valor prático de 500 000 solicitações.

Na Figura 4 ilustra-se o gráfico de determinação do número permitido de solicitações do eixo padrão com base no parâmetro perda de serventia (PS).

3.2.2.6 – Passo 6: Determinar o dano sazonal na superfície da estrada, provocado pelas passagens dos veículos, considerando o número de solicitações admissíveis obtido no parâmetro da perda de serventia (PS)

Para determinação do dano sazonal, considerando o parâmetro perda de serventia, basta apenas dividir o tráfego sazonal de veículos (FTP), obtido na coluna 04, pelo tráfego admissível antes da necessidade da atividade de manutenção, coluna 05.

O resultado da divisão é colocado na coluna 06, e em seguida realiza-se o somatório dos danos, que representa o dano total sofrido pela superfície da estrada no período de um ano.

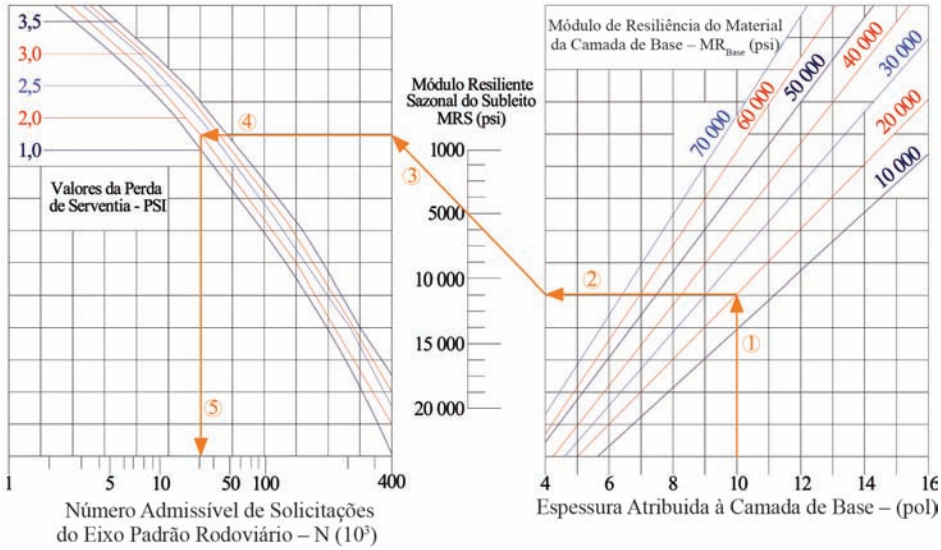


Fig. 4 – Gráfico de determinação do número permitido de solicitações do eixo padrão com base no parâmetro perda de serventia (PS) (Skorseth e Selim, 2000).

3.2.2.7 – Passo 7: Determinar o número permitido de solicitações do eixo padrão com base na profundidade das ondulações

O sétimo passo consiste em determinar o número de solicitações do eixo padrão rodoviário (N), o qual deteriora a superfície da estrada de maneira significativa, ou seja, o número N de solicitação o qual requer a necessidade da atividade de manutenção, para cada estação do ano, levando em consideração a profundidade das ondulações existente na superfície da estrada (CASE).

Para determinação do número $N_{Admissível}$, em função da profundidade das ondulações, realiza-se a seguinte seqüência de operação: 1) espessura da camada de base → 2) profundidade das ondulações (CASE) → 3) módulo de resiliência sazonal do subleito ($MR_{Subleito}$) → 4) módulo de resiliência do material da camada de base (MR_{Base}) → 5) número de solicitação (N) estimado antes da necessidade de manutenção. Para valores de N maiores do que 400 000 assumir o valor prático de 500 000 solicitações.

Na Figura 5 ilustra-se o gráfico de determinação do número permitido de solicitações do eixo padrão com base na profundidade das ondulações (CASE).

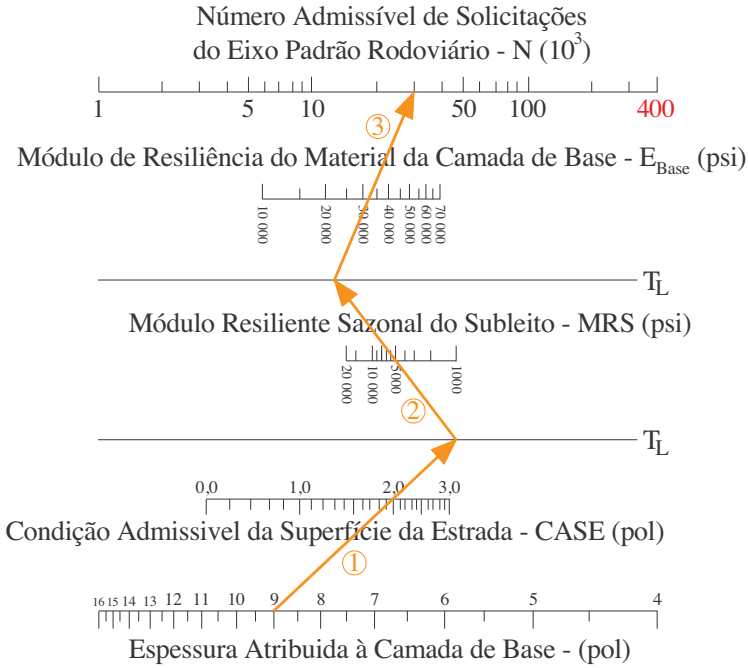


Fig. 5 – Gráfico de determinação do número permitido de solicitações do eixo padrão com base na profundidade das ondulações (CASE) (Skorseth e Selim, 2000).

3.2.2.8 – Passo 8: Determinar o dano sazonal na superfície da estrada, provocado pelas passagens dos veículos, considerando o número de solicitações necessárias para obtenção da deterioração da mesma

Para determinação do dano sazonal, considerando o parâmetro profundidade das ondulações, basta apenas dividir o tráfego sazonal estimado de veículos (FTP), obtido na coluna 04, pelo tráfego que requer a necessidade da atividade de manutenção, coluna 07.

O resultado da divisão é colocado na coluna 08, e em seguida realiza-se o somatório dos danos, que representa o dano total sofrido pela superfície da estrada no período de um ano.

Com base nos passos anteriormente detalhados foram construídas os Quadros de 8 a 12 correspondentes a este exemplo.

Quadro 8 – Resultados obtidos para a espessura de 10 pol.

Espessura Adotada do Camada de Base: 10,0 pol					**Perda de Serventia (PS): 2,5**		**Condição Admissível da Superfície da Estrada: 2,00 pol**	
Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Clima:	Condição do Subleito:	MRS (psi)	E_{Base} (psi)	FTP	Tráfego Admissível	Danos Sazonais	Tráfego Admissível	Danos Sazonais
1) Inverno	Congelado	20 000	25 000	8750	400 000	0,022	80 000	0,109
2) Prim vera	Saturado	2000	25 000	4375	6804	0,643	5800	0,754
3) Primavera/Outono	Úmido	6000	25 000	8750	25 000	0,350	19 000	0,461
4) Verão	Seco	10 000	25 000	13 125	67 000	0,196	31 500	0,417
Tráfego Total (FTP) =				**35 000**	**Somatório dos Danos:**	**1,211**	**Somatório dos Danos:**	**1,741**

Quadro 9 – Resultados obtidos para a espessura de 11 pol.

Espessura Adotada do Camada de Base: 11,0 pol					**Perda de Serventia (PS): 2,5**		**Condição Admissível da Superfície da Estrada: 2,00 pol**	
Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Clima:	Condição do Subleito:	MRS (psi)	E_{Base} (psi)	FTP	Tráfego Admissível	Danos Sazonais	Tráfego Admissível	Danos Sazonais
1) Inverno	Congelado	20 000	25 000	8750	400 000	0,022	80 000	0,109
2) Primavera	Saturado	2000	25 000	4375	10 000	0,438	7300	0,599
3) Primavera/Outono	Úmido	6000	25 000	8750	32 000	0,273	23 000	0,380
4) Verão	Seco	10 000	25 000	13 125	90 000	0,146	38 000	0,345
			Tráfego Total (FTP) =	**35 000**	**Somatório dos Danos:**	**0,879**	**Somatório dos Danos:**	**1,435**

Quadro 10 – Resultados obtidos para a espessura de 12 pol.

Espessura Adotada do Camada de Base: 12,0 pol					**Perda de Serventia (PS): 2,5**		**Condição Admissível da Superfície da Estrada: 2,00 pol**	
Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Clima:	Condição do Subleito:	MRS (psi)	E_{Base} (psi)	FTP	Tráfego Admissível	Danos Sazonais	Tráfego Admissível	Danos Sazonais
1) Inverno	Congelado	20 000	25 000	8750	400 000	0,022	100 000	0,088
2) Primavera	Saturado	2000	25 000	4375	14 000	0,313	8500	0,515
3) Primavera/Outono	Úmido	6000	25 000	8750	40 000	0,219	29 000	0,302
4) Verão	Seco	10 000	25 000	13 125	110 000	0,119	48 000	0,273
			Tráfego Total (FTP) =	**35 000**	**Somatório dos Danos:**	**0,672**	**Somatório dos Danos:**	**1,177**

Quadro 11 – Resultados obtidos para a espessura de 13 pol.

Espessura Adotada do Camada de Base: 13,0 pol					**Perda de Serventia (PS): 2,5**		**Condição Admissível da Superfície da Estrada: 2,00 pol**	
Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Clima:	Condição do Subleito:	MRS (psi)	E_{Base} (psi)	FTP	Tráfego Admissível	Danos Sazonais	Tráfego Admissível	Danos Sazonais
1) Inverno	Congelado	20 000	25 000	8750	400 000	0,022	140 000	0,063
2) Primavera	Saturado	2000	25 000	4375	18 500	0,236	11 000	0,398
3) Primavera/Outono	Úmido	6000	25 000	8750	54 000	0,162	32 000	0,273
4) Verão	Seco	10 000	25 000	13 125	130 000	0,101	50 000	0,263
			Tráfego Total (FTP) =	**35 000**	**Somatório dos Danos:**	**0,521**	**Somatório dos Danos:**	**0,996**

Quadro 12 – Resultados obtidos para a espessura de 14 pol.

Espessura Adotada do Camada de Base: 14,0 pol					Perda de Serventia (PS): 2,5		Condição Admissível da Superfície da Estrada: 2,00 pol	
Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Clima:	Condição do Subleito:	MRS (psi)	E_{Base} (psi)	FTP	Tráfego Admissível	Danos Sazonais	Tráfego Admissível	Danos Sazonais
1) Inverno	Congelado	20 000	25 000	8750	400 000	0,022	170 000	0,051
2) Primavera	Saturado	2000	25 000	4375	22 000	0,199	12 000	0,365
3) Primavera/Outono	Úmido	6000	25 000	8750	66 000	0,133	40 000	0,219
4) Verão	Seco	10 000	25 000	13 125	170 000	0,077	68 000	0,193
			Tráfego Total (FTP) =	35 000	Somatório dos Danos:	0,431	Somatório dos Danos:	0,828

3.2.2.9 – Passo 9: Determinar a espessura média com que a camada de base deve ser construída levando em consideração as condições estabelecidas de projeto

Para obtenção da espessura, faz-se necessário a construção de um gráfico que contenha o somatório dos danos totais, tanto para o número (N) de solicitações que não provocam deterioração significativa (que não requer necessidade de manutenção) quanto para as que provocam, em função de cada espessura adotada.

O gráfico possui no eixo das abscissas o valor da espessura adotada (em polegadas), e no eixo das ordenadas, os respectivos valores dos somatórios dos danos (Figura 6).

A primeira curva (linha vermelha) representa a deterioração sofrida pela superfície da estrada, diante do número de solicitações do eixo padrão, sem que haja a necessidade de manutenção, levando em consideração o parâmetro da perda de serventia (PS).

A segunda curva (a azul) representa a deterioração total sofrida pela superfície da estrada, pelo número de solicitações do eixo padrão rodoviário, para que haja necessidade de manutenção, levando em consideração o parâmetro da condição admissível da superfície da estrada (CASE).

A espessura média da base, considerando os critérios dos danos citados, é determinada por meio da interpolação gráfica correspondente ao valor da espessura de base para o critério de danos

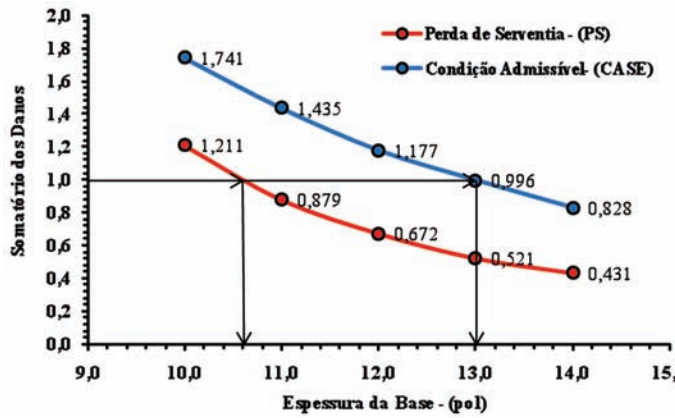


Fig. 6 – Danos totais *vs.* espessura da base para os critérios de serventia e deterioração.

totais igual a 1,0. No presente caso obteve-se uma espessura de 10,6 pol para o critério da perda de serventia e 13,0 pol para o critério da condição admissível. O valor adotado será o maior, portanto, 13,0 pol = 0,33 m.

3.2.2.10 – Passo 10: Determinar a espessura final de projeto levando em consideração a correção que deve ser realizada com base na perda por desagregação do material da base

Para cálculo da espessura de projeto utiliza-se a seguinte fórmula:

$$h_{Base_Corrigida} = h_{Base} + 0{,}5.GL \quad (4)$$

onde GL = Perda de Material (Aggregate Loss).

Assim, com base nas condições climatológicas da região da estrada, tráfego previsto, comportamento mecânico do material de base e do subleito e das condições estabelecidas de projeto, é necessário, portanto, uma espessura de 13,5 (0,35 m) polegadas para a camada de base, a ser colocada sobre o subleito, para que a estrada possua uma superfície de rolamento trafegável e duradora durante o período estimado de um ano:

$$h_{Base_Corrigida} = 13 + 0{,}5.1 = 13{,}5pol = 0{,}35m \quad (5)$$

3.2.2.11 – Passo 11: Converter parte da espessura da base em uma espessura equivalente de sub-base

Em algumas situações, durante o projeto de dimensionamento, torna-se economicamente mais viável colocar sob a camada de base, um material de comportamento mecânico inferior como camada de sub-base. Este critério passa a ser considerado necessário quando o material da camada de base torna-se muito caro quando comparado com o material da sub-base. A substituição de um material nobre por um de custo inferior implica numa economia significativa no orçamento de construção de uma estrada.

Para transformar parte da espessura de base em uma espessura equivalente de sub-base, faz-se necessário o uso do ábaco ilustrado na Figura 7.

Com base no exemplo a seguir descreve-se o procedimento para conversão, utilizando outros dados dos materiais e tráfego:

a) Primeiramente faz-se necessário a obtenção dos seguintes parâmetros:
   - Espessura total da camada de base: 11,0 pol (0,28 m);
   - Espessura fixa da camada de base (escolhida arbitrariamente): 6,0 pol (0,16 m);
   - Espessura a ser substituída da camada de base: 5,0 pol (0,127 m);
   - Módulo de resiliência do material da camada de sub-base: 15 000 psi (103 MPa);
   - Módulo de resiliência do material da camada de base: 30 000 psi (206 MPa);

b) De posse dos parâmetros citados, em seguida, utiliza-se o ábaco da Figura 7 obedecendo à seguinte sequência:
   - primeiramente entra-se no ábaco com o valor da espessura fixa de base (0,16 m), e pela horizontal, em seguida, chega-se à linha que representa o módulo de resiliência do material da camada de sub-base (103 MPa);

– na vertical deste ponto obtêm-se a orientação da segunda seta com base nesses dois parâmetros citados, determina-se a espessura de base que será substituída (0,127 m);

– após obter a orientação da terceira seta, por último, escolhe-se o módulo de resiliência do material da camada de base (206 MPa);

– por fim, após obter a orientação da quarta e última seta, prolonga-se a mesma até interceptar o eixo da espessura requerida de sub-base.

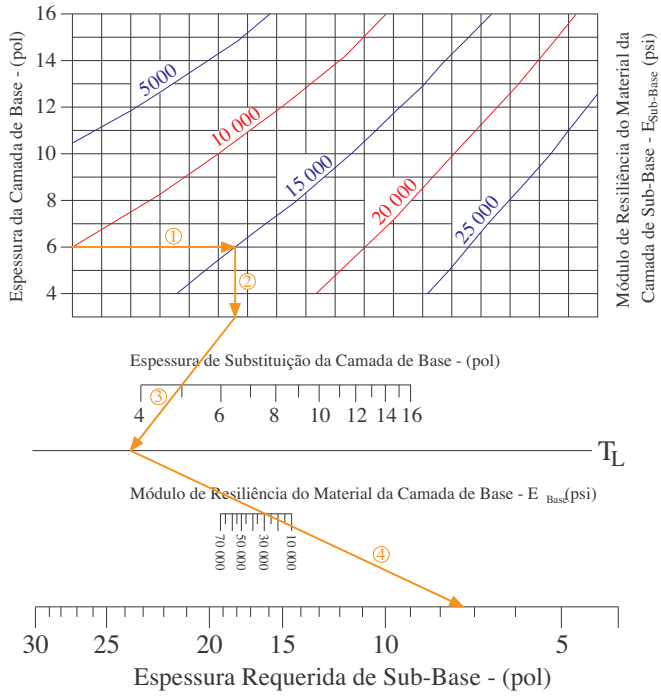


Fig. 7 – Ábaco de conversão de parte da espessura da camada de base em espessura equivalente de sub-base (Skorseth e Selim, 2000).

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente trabalho foi divulgar um método de dimensionamento da espessura de revestimento primário de estradas de terra, para países que não possuem métodos eficientes. Por meio do respectivo método de dimensionamento, também pode-se estimar o período de vida útil do revestimento, assim como o periodo necessário para os serviços de manutenção do mesmo, aumentando, portanto, sua durabilidade e reduzindo os investimentos com manutenção.

A aplicação do respectivo método trará economias no setor de infraestrutura de transportes muito significativas, principalmente para países onde a grande extensão da rede viária é composta por estradas não pavimentadas, como no caso do Brasil.

A divulgação do respectivo método também servirá para incentivo científico de novos modelos de dimensioanamento da espessura do revestimento primário, assim como proporcionará aos profissionais da área de construção e manutenção das estradas não pavimentadas uma abordagem inovadora no processo de dimensionamento da espessura do revestimento primário.

Pois, ao longo dos últimos anos, os orgãos rodoviários, ao acompanhar o desenvolvimento tecnológico do setor, passaram a exigir profissionais mais atualizados com as inovações impusionadas pelas demandas da economia e dos usuários.

5 – AGRADECIMENTOS

O primeiro autor manifesta o seu agradecimento ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, a FACEPE, ao CNPq e aos professores orientadores do presente trabalho.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baesso, D.P.; Gonçalves, F.L.R. (2003). *Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção*. Florianópolis: DER, 236 p.

Baptista, C. N. (1980). *Pavimentação:* Tomo I, 4ª ed.. Ed. Globo, Porto Alegre.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2011). *Plano Nacional de Viação/PNV*. Disponível em: http://www.dnit.gov.br/plano-nacional-de-viacao/pnv-2011-atual. Acessado em 14/04/2011.

Duque Neto, F. da S. (2004). *Proposição de Metodologia para Escolha de Solo e Dosagem de Antipó com Emulsão de Xisto.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 293 p.

Medina, J.; Motta, L.M.G. (2005). *Mecânica dos Pavimentos*. 2ª. ed. Rio de Janeiro, 574 p.

Preussler, E.S. (1983). *Estudo da Deformação Resiliente de Pavimentos Flexíveis e Aplicação ao Projeto de Camadas de Reforço*. Tese de Doutorado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

Santos, Á.R.; Pastore, E.L.; Júnior, F.A.; Cunha, M.A. (1985). *Estradas Vicinais de Terra: Manual Técnico para Conservação e Recuperação*. São Paulo: IPT, 129 p.

Skorseth, K.; Selim, A.A. (2000). *Gravel Roads: Maintenance and Design Manual.* U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, 104 p.