

ATENÇÃO

**AS INFORMAÇÕES CONSTANTES
DESTE ARTIGO PODERÃO SER
UTILIZADAS EM OUTROS
TRABALHOS, DESDE QUE SEJAM
CITADAS ESTA FONTE E A
AUTORA**

34ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO

PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS
NOVOS

Mônica Sayoco Nishibe

Seção Técnica: Avaliação e Dimensionamento de Pavimentos

34ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO
Campinas , SP
24 a 29 de agosto de 2003

Proposição de Método de Dimensionamento de Pavimentos Novos

Mônica Sayoco Nishibe

Este trabalho destina-se a proposição de uma metodologia de dimensionamento de pavimentos novos de estruturas flexíveis e invertidas, concebida à luz de critérios de análise mecanística.

Através da observação dos diagramas de dimensionamento, três para pavimento flexível e um para pavimento invertido, dimensiona-se estruturas a serem implantadas em locais cujo subleito apresente módulos elásticos de 500 kgf/cm² a 2.000 kgf/cm². O parâmetro de tráfego necessário ao dimensionamento é o número de solicitações ao eixo padrão de 8,2 tf obtido através dos critérios preconizados pela AASHTO. Neste trabalho é possível dimensionar pavimentos na faixa entre $1,0 \cdot 10^6$ e $7,5 \cdot 10^7$.

Espessuras de base de 15 cm a 35 cm são possíveis de se adotar no caso de pavimentos flexíveis. Para pavimentos invertidos, as espessuras de base granular e sub-base estabilizada com aglomerante hidráulico são fixadas em 12 cm e 17 cm respectivamente. A espessura de revestimento varia de 8 cm a 18 cm para ambos tipos de pavimento.

Os critérios de falha adotados, para a verificação das estruturas, foram o Critério de Fred Finn (Asphalt Institute) para revestimento, Critério de Nguyen Dac Chi (LCPC) para sub-base rígida e Critério de Santucci (Chevron Reseach Company / Asphalt Institute) para subleito.

As análises efetuadas, em mais de 220 processamentos de estruturas através do programa de diferenças finitas – Elsym5, habilitou a determinação de curvas de dimensionamento, todas em função potencial, com erros quadráticos superiores a 0,997. Tais resultados indicam uma boa confiabilidade dos resultados.

Ainda neste trabalho, dispõe-se de diagramas que permitem a avaliação do acréscimo de valor modular da fundação lançando-se mão do uso de reforço de subleito. Os reforços poderão ter de 30 cm a 100 cm de espessura e módulos elásticos de 600 kgf/cm² a 2.000 kgf/cm², para reforçar-se subleitos com módulos de valores entre 300 kgf/cm² e 1.000 kgf/cm².

monica@centauroseng.com.br / monicarish@gmail.com

Palavras chave: deflexão, deformação, fadiga, módulo elástico

1. Introdução

Este trabalho apresenta os estudos efetuados para a proposição de um novo método de dimensionamento de pavimentos flexíveis novos. Trata-se de um método teórico que envolve análise mecânica do pavimento. As estruturas foram submetidas à verificação através de equações de fadiga para as camadas consideradas críticas. Estas equações, descritas ao longo deste trabalho, são de reconhecimento internacional.

Os cálculos para este estudo foram realizados através de processamento de estruturas de pavimento que compõem planos fatoriais de análises, lançando-se mão do uso do programa Elsym5 de diferenças finitas.

2. Parâmetros e Dados de Análise

Parâmetros Básicos de Definição dos Planos Fatoriais

Para as estruturas de pavimento flexível, as 96 estruturas analisadas consideraram uma variação de espessura de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) entre 4 e 18cm, bases granulares em brita graduada simples (BGS) com espessuras de 15 a 35cm. Já as estruturas de pavimento invertido analisadas tiveram sua espessura de CBUQ variando de 4 a 18cm, com espessuras fixas de base e sub-base, totalizando 128 estruturas.

As estruturas de análise escolhidas para o embasamento deste método permitem também a verificação de utilizar-se estruturas com reforço de subleito. Foram estudadas 63 combinações diferentes de módulos e espessuras de reforço para tal fim. As estruturas estudadas variam espessuras de reforço de subleito entre 30cm e 100cm. Os módulos dos materiais variaram entre 600 e 2000 kgf/cm² para reforço do subleito e 300 a 1000 kgf/cm² para o subleito.

Apresenta-se, a seguir, as estruturas analisadas no presente trabalho.

Quadro 2.1 – Plano Fatorial de Avaliação de Estruturas de Pavimento Flexível

Camada	Espessuras (cm)	Coefficiente de Poisson	Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)
Revestimento (CBUQ)	4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	0,30	40.000
Base (BGS)	15, 25, 35	0,35	variável = f (h ₁ , h ₂ , E ₁ e E ₃)
Subleito	700	0,40	500, 1.000, 1.500, 2.000

Quadro 2.2 – Plano Fatorial Auxiliar para Análise do Módulo Elástico da Base de Brita Graduada Simples (BGS) das Estruturas de Pavimento Invertido

Camada	Espessuras (cm)	Coefficiente de Poisson	Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)
Revestimento (CBUQ)	4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	0,30	40.000
Base (BGS)	12	0,35	2.000, 3.500, 5.000
Sub-base (BGTC)	17	0,20	70.000
Subleito	700	0,40	500, 1.000, 1.500, 2.000

Quadro 2.3 – Plano Fatorial de Avaliação de Estruturas de Pavimento Invertido

Camada	Espessuras (cm)	Coefficiente de Poisson	Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)
Revestimento (CBUQ)	4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	0,30	40.000
Base (BGS)	12	0,35	variável
Sub-base (BGTC)	17	0,20	70.000
Subleito	700	0,40	500, 1.000, 1.500, 2.000

Quadro 2.4 – Plano Fatorial para Análise de Reforço do Subleito

Camada	Espessuras (cm)	Coefficiente de Poisson	Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)
Reforço do subleito	30, 40, 60, 80, 100	0,40	600, 800, 1.000, 2.000
Subleito	670, 660, 640, 620, 600	0,40	300, 400, 800, 1.000

O valor de módulo do CBUQ adotado de 40.000 kgf/cm² é um valor médio admitido como valor característico do material que normalmente é obtido nas misturas provenientes das usinas nacionais.

Para a determinação do módulo da BGS lançou-se mão de alguns procedimentos de cálculo no intuito de aproximar-se da real condição de não linearidade inerente ao material. Nos casos de pavimentos flexíveis, os módulos elásticos da camada de base variaram entre 1.490 a 4.670kgf/cm², aproximadamente. Nos pavimentos invertidos os módulos obtidos para a BGS situaram-se entre 2.970 e 5.000 kgf/cm². Os valores maiores encontrados para as estruturas de pavimento invertido se devem ao fato desta camada encontrar-se em uma condição diferente de confinamento. Os procedimentos de cálculo destes módulos serão descritos ao longo deste trabalho.

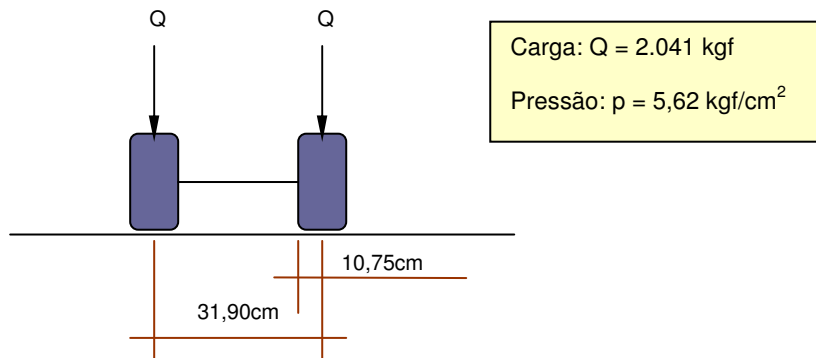
A sub-base de Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), considerada neste estudo em estruturas de pavimento invertido, foi analisada de maneira a assumir um módulo elástico de 70.000 kgf/cm². Valores superiores a este, por diversas vezes, foram obtidos em diversas ocasiões de análises e construções. Contudo, conservadoramente, foi adotado este valor de modo a garantir-se um mínimo de resistência desta camada que está sujeita a diversos fatores que podem contribuir para o decréscimo de seu valor modular final, a ser atingido por ocasião da abertura ao tráfego.

Os módulos de subleito e/ou sistema subleito+reforço do subleito de 500 a 2.000 kgf/cm² foram adotados por serem valores que, além de abrangerem uma considerável porção dos valores encontrados nos nossos solos, incluem valores de referência de valores citados no Estudo de Solos Tropicais realizado pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – DNER. Para a determinação do valor modular do subleito e reforço do subleito, seria desejável que fossem executados ensaios de módulo dos materiais, ao invés da utilização de correlações entre valores de CBR e módulos de elasticidade que nem sempre convergem em valores sequer próximos aos reais.

Parâmetro de Carregamento de Estruturas

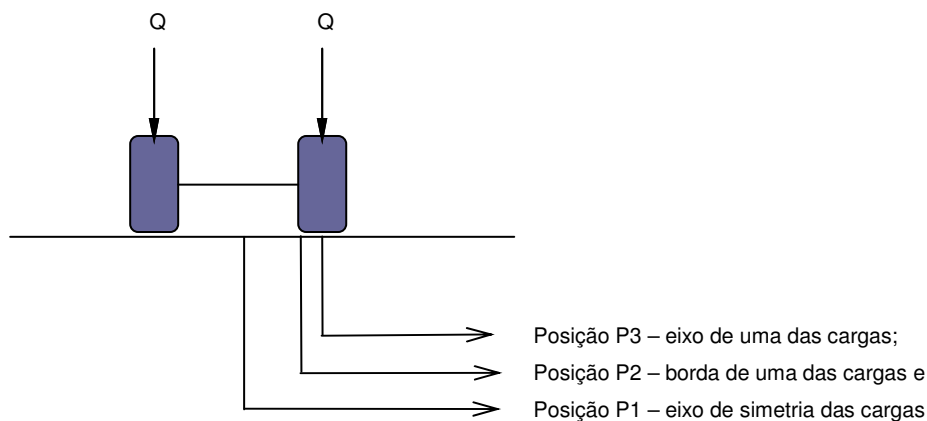
Para todo o estudo foi simulado um carregamento de um semi-eixo padrão. A configuração e as cargas consideradas estão apresentadas na figura abaixo.

Figura 2.1 – Simulação de Cargas Solicitantes nas Estruturas



Para esta configuração, foram analisadas as respostas do processamento em três localizações distintas para a determinação mais precisa de valores críticos, conforme demonstrado na figura a seguir.

Figura 2.2 – Posição de Análise de Respostas Computacionais



Considerando-se que o eixo da carga à esquerda esteja situado na posição ($x=0\text{cm}$; $y=0\text{cm}$), o ponto de análise P1 estará na posição (0cm ; $15,95\text{cm}$), o ponto P2 em (0cm ; $21,15\text{cm}$) e P3 em (0cm ; $31,9\text{cm}$).

3. Critérios de Falha Adotados

Foram adotados, para o presente trabalho, critérios de falha com origem em órgãos reconhecidos no âmbito rodoviário mundial. Tais critérios estão apresentados a seguir.

Para a avaliação do revestimento foi utilizado o critério de fadiga por deformação de tração horizontal na face inferior do revestimento, verificado pela equação de Fred Finn pelo Asphalt Institute. Na equação original foi considerado, como material de

revestimento, um concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) com módulo de elasticidade de 40.000 kgf/cm², volume de vazios de 5%, volume de betume efetivo de 11% e fator campo/laboratório igual a 40 obtém-se a seguinte equação:

$$N_f = \frac{3,4142 \cdot 10^{-6}}{\varepsilon_{t\text{máx}}^{3,291}}$$

Os estudos de Nguyen Dac Chi pelo LCPC nos habilitam, para a avaliação da camada de BGTC das estruturas de pavimento invertido, à utilização da equação:

$$\log N_f = 10 - 0,625(\sigma_t)_{\text{máx}}$$

onde a resistência à compressão $RCS_{28} = 85 \text{ kgf/cm}^2$;
resistência à tração $RT_{28} = 16 \text{ kgf/cm}^2$ e
grau de confiabilidade de 85%.

A equação adotada para a verificação do subleito foi aquela concebida por Santucci e adotada pela Chevron Research Company e o Asphalt Institute apresentada a seguir:

$$N_f = \frac{1,338 \cdot 10^{-9}}{(\varepsilon_z)^{4,4843}}$$

4. Estruturas de Pavimento Flexível

As 96 estruturas selecionadas para a análise dos pavimentos flexíveis avaliam estruturas com revestimentos variando entre 4 e 18 cm de espessura e as espessuras de base consideradas no plano fatorial variam de 15 a 35 cm. Estas estruturas processadas estão apresentadas no quadro abaixo:

Quadro 4.1 – Estruturas Constituintes do Plano Fatorial Principal de Pavimento Flexível

Espessura do Revestimento - h_1 (cm)	Espessura da Base - h_2 (cm)	Módulo do Subleito – Esl (kgf/cm ²)
4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 ou 18	15, 25, 35	500, 1.000, 1.500, 2.000

Para o processamento destas estruturas, foi calculado o módulo elástico da camada de base em BGS através da equação de Witczak e Smith, onde determina-se o módulo da base em função das espessuras de revestimento e de base, assim como dos valores de módulos do revestimento e do subleito, mostrado a seguir.

$$E_2 = \frac{10,447(E_3)^{0,287} (K_1')^{0,868}}{(h_1)^{0,471} (h_2)^{0,041} (E_1)^{0,139}}$$

onde:

$K_1 = 2.500$ e $K_2' = K_2 = 0,5$

$$K_1' = \frac{K_1}{(0,07031)^{(1-K_2')}} = 9.428,258$$

Desta forma, os valores calculados de módulo da base e convertidos de psi para kgf/cm^2 , dentro do universo analisado para o presente estudo, variaram de 1.493 a 4.673 kgf/cm^2 .

A partir destes dados, foram processadas as estruturas de maneira a obter-se as respostas computacionais nos pontos de análise de posições críticas das estruturas, sendo elas a deformação horizontal de tração máxima na face inferior do revestimento e a deformação vertical de compressão máxima no topo do subleito. Desta forma, aplicando-se as equações de fadiga apresentadas no item 3, foram determinados, para cada estrutura, os seus números terminais de solicitações, tanto para revestimento, quanto para o subleito. Os valores das deformações, assim como os valores de número admissível de solicitações, estão apresentados no quadro 4.2 a seguir.

Quadro 4.2 - Plano Fatorial Principal de Pavimento Flexível
Verificação das camadas críticas do pavimento

E _i	Pavimento (N _{des}) _{ASR10}								(E _b) _{des} (x 10 ⁴)							
	h ₁ = 4 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 4 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 15 cm
500	2.03E+06	1.01E+06	1.14E+06	1.61E+06	2.38E+06	3.66E+06	5.67E+06	8.69E+06	2.646	3.271	3.153	2.838	2.518	2.210	1.935	1.700
1000	4.51E+06	2.04E+06	2.19E+06	2.98E+06	4.40E+06	6.51E+06	9.74E+06	1.46E+07	2.075	2.642	2.585	2.382	2.091	1.856	1.642	1.453
1500	7.13E+06	3.04E+06	3.19E+06	4.27E+06	6.25E+06	9.14E+06	1.34E+07	1.98E+07	1.805	2.338	2.306	2.110	1.879	1.674	1.489	1.324
2000	9.80E+06	4.02E+06	4.13E+06	5.46E+06	7.93E+06	1.16E+07	1.69E+07	2.46E+07	1.639	2.148	2.131	1.968	1.748	1.557	1.389	1.239
E _i	Subleito (N _{des}) _{ASR10}								(E _b) _{sub} (x 10 ⁴)							
	h ₁ = 4 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 4 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 15 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 15 cm
500	4.67E+03	9.13E+03	1.87E+04	4.15E+04	9.27E+04	2.02E+05	4.24E+05	8.60E+05	15.960	13.740	11.710	9.801	8.195	6.888	5.837	4.987
1000	3.44E+04	7.40E+04	1.40E+05	2.88E+05	6.01E+05	1.23E+06	2.44E+06	4.68E+06	10.220	8.617	7.479	6.382	5.402	4.604	3.951	3.417
1500	1.20E+05	2.60E+05	5.01E+05	9.92E+05	1.99E+06	3.94E+06	7.60E+06	1.42E+07	7.735	6.510	5.624	4.830	4.135	3.551	3.067	2.669
2000	3.02E+05	6.59E+05	1.30E+06	2.50E+06	4.90E+06	9.46E+06	1.79E+07	3.28E+07	6.296	5.291	4.546	3.929	3.383	2.921	2.535	2.214
E _i	Pavimento (N _{des}) _{ASR20}								(E _b) _{des} (x 10 ⁴)							
	h ₁ = 4 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 4 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 25 cm
500	3.18E+06	1.56E+06	1.68E+06	2.25E+06	3.23E+06	4.73E+06	7.04E+06	1.05E+07	2.308	2.866	2.803	2.582	2.297	2.045	1.812	1.606
1000	5.94E+06	2.67E+06	2.78E+06	3.66E+06	5.29E+06	7.59E+06	1.11E+07	1.62E+07	1.908	2.433	2.403	2.210	1.977	1.771	1.579	1.406
1500	8.54E+06	3.64E+06	3.72E+06	4.85E+06	6.94E+06	9.98E+06	1.44E+07	2.09E+07	1.709	2.214	2.200	2.030	1.820	1.630	1.458	1.302
2000	1.10E+07	4.54E+06	4.56E+06	5.88E+06	8.38E+06	1.21E+07	1.73E+07	2.50E+07	1.581	2.071	2.068	1.914	1.719	1.538	1.378	1.233
E _i	Subleito (N _{des}) _{ASR20}								(E _b) _{sub} (x 10 ⁴)							
	h ₁ = 4 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 4 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 25 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 25 cm
500	3.80E+04	4.73E+04	7.62E+04	1.40E+05	2.70E+05	5.24E+05	1.01E+06	1.91E+06	9.995	9.523	8.560	7.476	6.459	5.568	4.812	4.175
1000	2.75E+05	3.45E+05	5.43E+05	9.64E+05	1.79E+06	3.36E+06	6.23E+06	1.13E+07	6.432	6.114	5.526	4.861	4.232	3.679	3.206	2.807
1500	9.56E+05	1.21E+06	1.89E+06	3.30E+06	6.03E+06	1.11E+07	2.02E+07	3.60E+07	4.870	4.617	4.183	3.685	3.230	2.818	2.466	2.168
2000	2.43E+06	3.11E+06	4.80E+06	8.28E+06	1.49E+07	2.72E+07	4.89E+07	8.64E+07	3.957	3.744	3.398	3.009	2.638	2.306	2.025	1.784
E _i	Pavimento (N _{des}) _{ASR30}								(E _b) _{des} (x 10 ⁴)							
	h ₁ = 4 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 4 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 35 cm
500	3.35E+06	1.79E+06	1.98E+06	2.66E+06	3.81E+06	5.50E+06	8.06E+06	3.15E+07	2.270	2.745	2.665	2.436	2.184	1.953	1.739	1.149
1000	5.96E+06	2.87E+06	3.04E+06	4.02E+06	5.77E+06	8.23E+06	1.19E+07	4.61E+07	1.906	2.380	2.338	2.149	1.925	1.728	1.545	1.024
1500	8.38E+06	3.79E+06	3.91E+06	5.10E+06	7.26E+06	1.04E+07	1.49E+07	5.72E+07	1.719	2.187	2.166	1.999	1.795	1.609	1.442	0.959
2000	1.07E+07	4.62E+06	4.68E+06	6.02E+06	8.54E+06	1.23E+07	1.75E+07	6.65E+07	1.596	2.060	2.052	1.900	1.709	1.531	1.375	0.916
E _i	Subleito (N _{des}) _{ASR30}								(E _b) _{sub} (x 10 ⁴)							
	h ₁ = 4 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 4 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 6 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 8 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 10 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 12 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 14 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 16 cm h ₂ = 35 cm	h ₁ = 18 cm h ₂ = 35 cm
500	1.93E+05	2.13E+05	2.98E+05	4.75E+05	8.11E+05	1.42E+06	2.52E+06	3.67E+07	6.938	6.808	6.318	5.682	4.456	3.925	2.159	
1000	1.29E+06	1.45E+06	2.04E+06	3.23E+06	5.42E+06	9.31E+06	1.60E+07	8.59E+07	4.562	4.436	4.114	3.713	3.308	2.932	2.597	1.786
1500	4.28E+06	4.95E+06	6.97E+06	1.10E+07	1.84E+07	3.12E+07	5.31E+07	1.38E+08	3.487	3.375	3.127	2.825	2.520	2.238	1.988	1.607
2000	1.05E+07	1.24E+07	1.75E+07	2.78E+07	4.57E+07	7.74E+07	1.31E+08	1.90E+08	2.852	2.751	2.546	2.301	2.056	1.828	1.626	1.497

Como podem ser observados, os valores obtidos para a espessura de 4 cm de revestimento apresentaram valores discrepantes no que se refere ao número de solicitações admissível calculado para o revestimento. Tais valores sugerem, em alguns casos, que a estrutura desempenha-se melhor que a mesma estrutura com 12cm de revestimento. Tais comportamentos não são classificados necessariamente como excepcionalidades. Na mecânica dos pavimentos podem ocorrer algumas descontinuidades que ocasionam este tipo de situação. Tais comportamentos já foram observados pelos estudiosos da LCPC e foram relatados em boletins nas décadas anteriores. Para o presente estudo, face aos resultados obtidos, foram consideradas espúrias todas as estruturas com espessura de revestimento de 4 cm.

A partir dos dados calculados, foi possível traçar curvas representativas do comportamento destas estruturas. Os gráficos foram gerados de maneira a determinar-se equações de comportamento das estruturas em cada uma de suas posições críticas. Todas as curvas foram ajustadas em um modelo do tipo $N_{AASHTO} = \alpha E_{SL}^{\beta}$, por ser o que indicou o melhor ajuste. Para as curvas de fadiga do revestimento, o erro quadrático variou entre 1,0000 e 0,9996. Nas curvas de fadiga do subleito, os erros quadráticos situaram-se entre 1,0000 e 0,9984. Estas equações possibilitaram a confecção dos ábacos de dimensionamento de pavimento flexível que, dado um módulo do subleito ou do sistema reforço do subleito + subleito conforme o procedimento descrito no item 6 e definido pelo projetista e ainda, conhecido o número de solicitações ao eixo padrão de 8,2tf obtido pela metodologia AASHTO, define-se até três alternativas de pavimento flexível, dependendo da espessura de base a ser adotada.

Os três ábacos, apresentados como diagramas 4.1, 4.2 e 4.3 ao final deste item, possibilitam a obtenção da espessura mínima necessária para a estrutura de pavimento com os parâmetros definidos anteriormente. Cabe salientar que para a espessura mínima de revestimento, quando resultar em valores fracionários e que necessite de arredondamentos, deverá sempre ser tomado um valor superior àquele lido.

Cada um dos três diagramas apresenta uma família de curvas de dimensionamento do pavimento para cada uma das espessuras de base de 15, 25 ou 35cm. Na manipulação destes gráficos ainda é possível a interpolação de valores, de maneira a obter-se a estrutura desejável para cada projeto. Não são recomendadas quaisquer extrapolações de valores sob pena de se convergir em estruturas que efetivamente não satisfaçam as necessidades do projeto.

Pela observação dos diagramas é possível notar que as curvas ora assumem formato de linhas tracejadas, ora linhas contínuas finas e em outras, linhas contínuas grossas. Esta notação serve como referência ao projetista para que se saiba qual é a camada crítica da estrutura, ou seja, onde seria a ruptura daquele pavimento, caso aquelas espessuras não fossem atendidas. Assim, nos casos onde observa-se linhas tracejadas, a camada crítica da estrutura é o subleito. No caso das linhas contínuas finas, a ruptura seria através do trincamento por fadiga no revestimento. Finalmente, as linhas mais espessas contínuas indicam o limite mínimo de revestimento de camadas granulares de BGS com CBUQ. Este critério, introduzido neste estudo, tem sua origem no critério de dimensionamento californiano (CDH) que associa uma espessura mínima de CBUQ a ser executada sobre camadas granulares de base com $CBR \geq 85\%$ ao Índice de Tráfego (IT). Este índice pode ser correlacionado com N_{AASHTO} pela utilização da equação desenvolvida por Raymond Forsyth. A figura 4.1, a seguir, apresenta a curva de correlação N_{AASHTO} a esta espessura mínima de recobrimento.

Figura 4.1 - Curva de Dimensionamento - Método Californiano

N_{AASHTO}	$(h_{CBUQ})_{min}$ (cm)
3.31E+04	5.2
1.21E+05	5.9
3.72E+05	6.8
1.00E+06	7.8
2.42E+06	8.6
5.40E+06	9.4
1.12E+07	10.3
2.20E+07	11.2
4.10E+07	12
7.31E+07	12.8

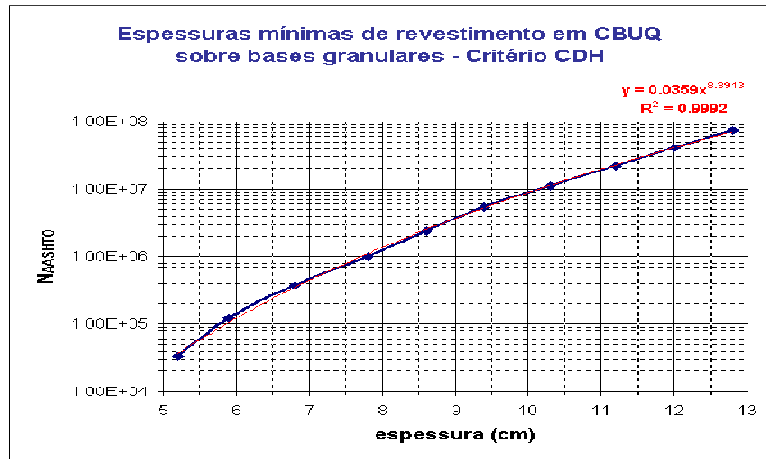


Diagrama 4.1 - Curvas de Fadiga - Pavimento Flexível

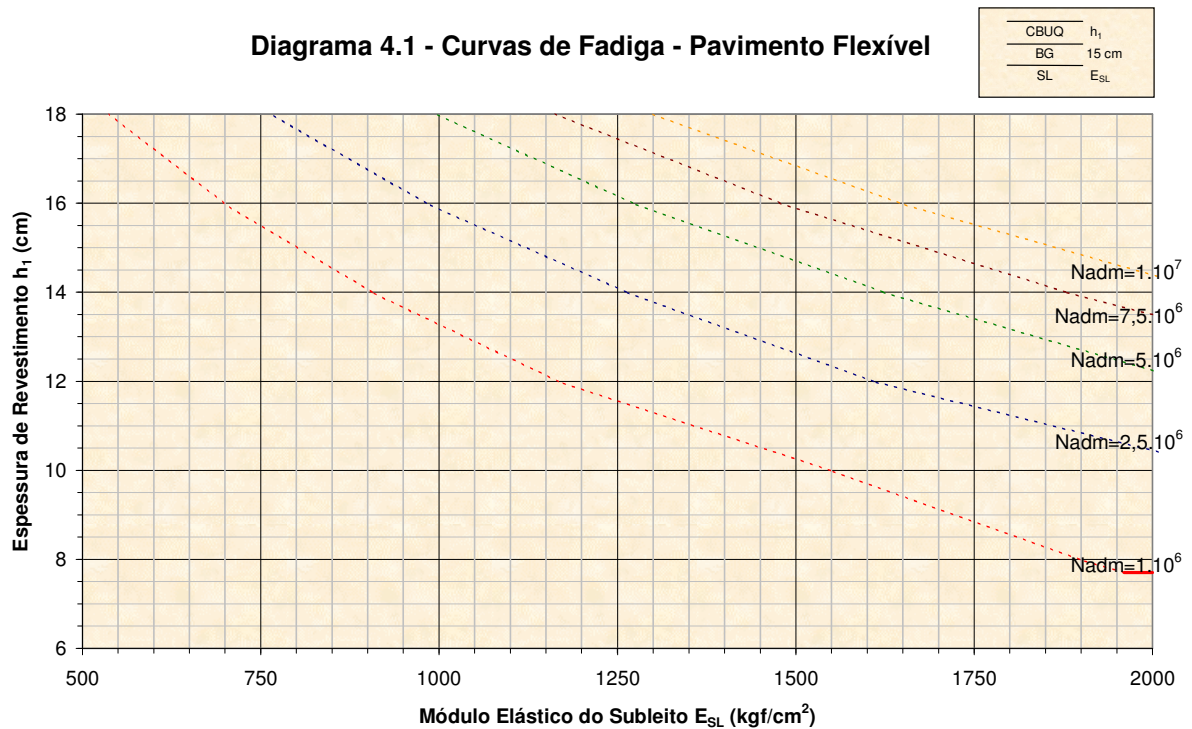


Diagrama 4.2 - Curvas de Fadiga - Pavimento Flexível

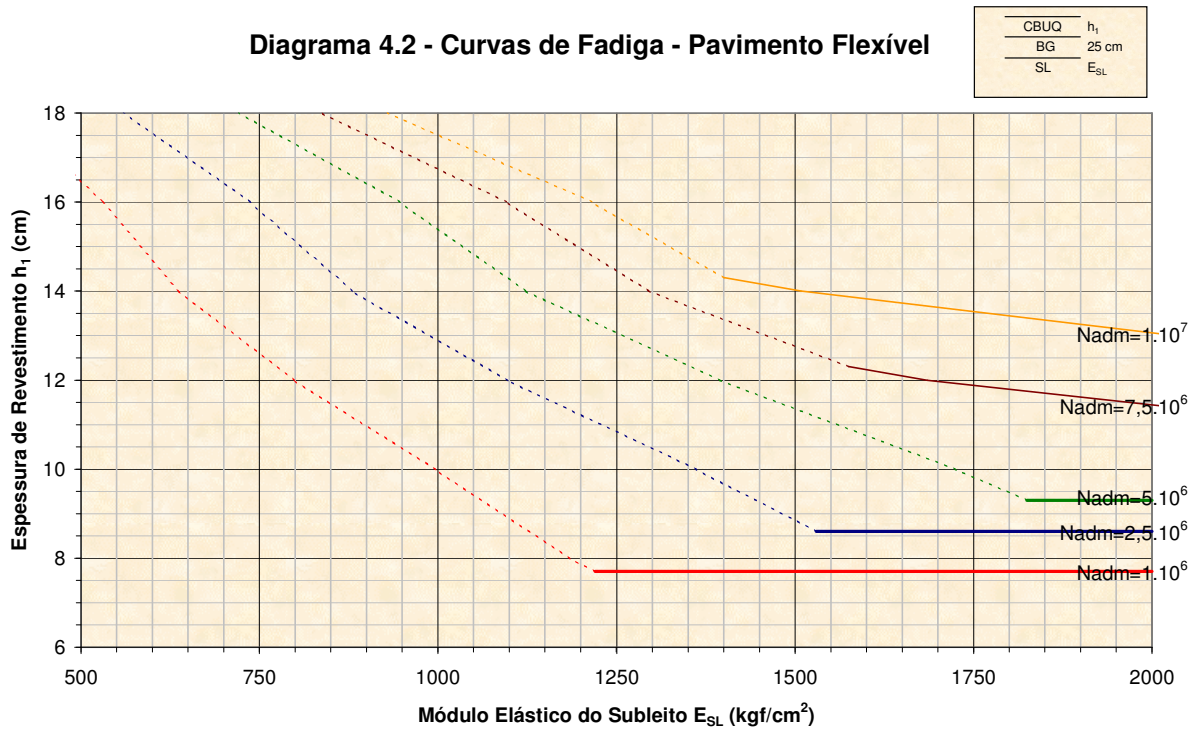
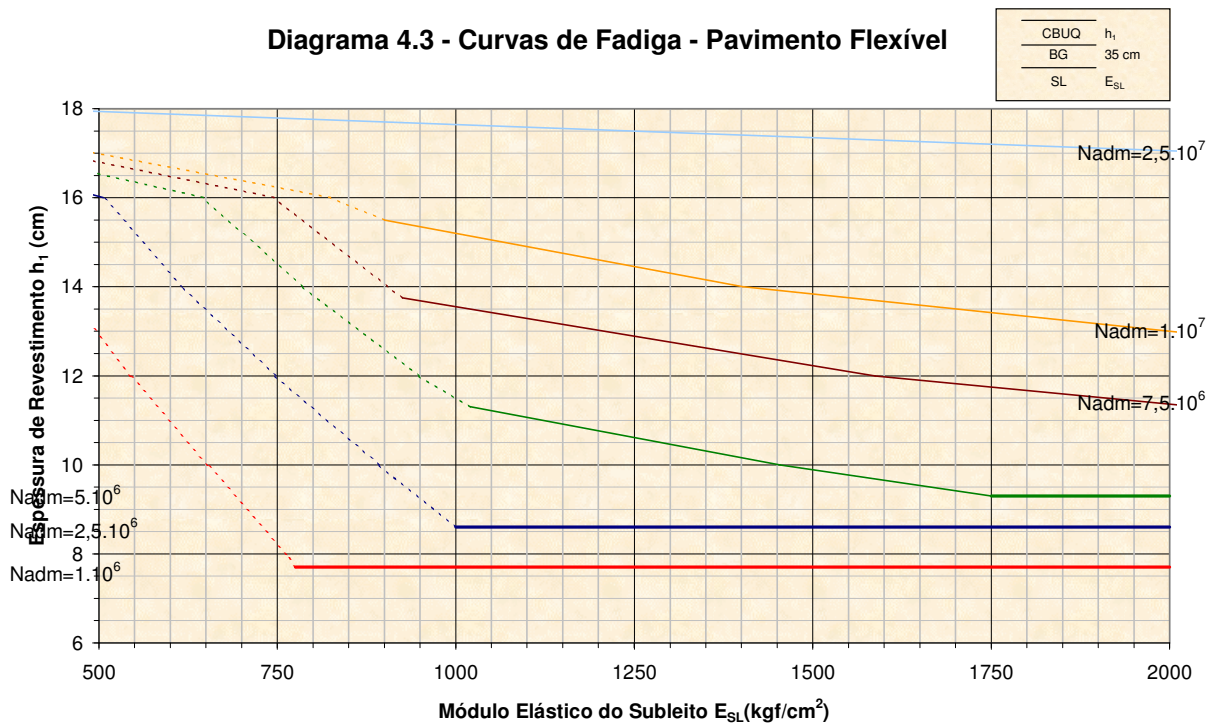


Diagrama 4.3 - Curvas de Fadiga - Pavimento Flexível



5. Estruturas de Pavimento Invertido

A análise de alternativas de estruturas em pavimento invertido requer estudos complementares especiais no que se refere a determinação do módulo elástico da camada de base de BGS. Esta camada está inserida entre dois materiais nobres que desenvolvem módulos de elasticidade elevados, sendo eles, BGTC em seu limite inferior e CBUQ em seu limite superior. Esta camada, por ser constituída de material não coesivo, tem a importante função de inibir a reflexão de trincas de retração da sub-base de BGTC para o revestimento, fenômeno diversas vezes observado nos pavimentos semi-rígidos.

A estimativa do módulo de elasticidade da BGS foi realizada lançando-se mão de uma brilhante solução estudada por Armando Martins Pereira.

Neste tipo de análise, traça-se em um gráfico a curva relativa ao comportamento espectral, determinada através da equação de Biarez, e outra curva com valores obtidos pela simulação das condições da camada em processamento de estruturas, desta forma obtém-se no ponto de interseção, o seu valor do módulo de elasticidade.

Para tanto, são calculadas através da equação de Biarez abaixo, as relações entre o módulo elástico e a soma de tensões principais geradas nesta camada.

$$E_2 = K_1 \theta^{K_2} = 2500 \theta^{0,5}$$

Segundo os estudos de Pereira: "...NAASRA Guide to Pavement Thickness Design menciona que o módulo de elasticidade das britas graduadas de alta qualidade, compactadas a 100% do padrão AASHTO Modificado e assentes sobre sub-bases confeccionadas com materiais cimentados, resulta compreendido entre 2.000kgf/cm² e 7.000kgf/cm²...Em estudos sobre seções experimentais de pavimentos invertidos levados a efeito por Tutumler e Barksdale ("School of Civil and Environment Engineering", "Georgia Institute of Technology", Atlanta) mostram que a base de brita da estrutura desenvolveu módulos variáveis entre 2.460kgf/cm² e 5.625kgf/cm²."

Desta forma, foram calculados os valores de θ para valores de E_2 de 2.000, 3.500 e 5.000kgf/cm², resultando em 0,6398; 1,9595 e 3,9989 respectivamente. A estes pares de coordenadas foram calculados, através do processamento de estruturas, simulações onde a camada de BGS assumisse estes três valores modulares. Assim, foi criado um plano fatorial auxiliar para a determinação dos valores de módulos da BGS nas estruturas invertidas de análise. As 96 estruturas analisadas neste plano fatorial auxiliar estão apresentadas no quadro 5.1 a seguir.

Quadro 5.1 – Plano Fatorial Auxiliar

Espessura do Revestimento - h_1 (cm)	Módulo da Base – E_2 (kgf/cm ²)	Módulo do Subleito – E_3 (kgf/cm ²)
4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 ou 18	2.000, 3.500, 5.000	500, 1.000, 1.500, 2.000

O processamento destas estruturas possibilitou o cálculo da soma de tensões na camada de BGS. As tensões foram obtidas na profundidade média da camada e sua soma, para cada módulo de BGS deste plano auxiliar, foi utilizada para traçar a segunda curva do diagrama de determinação do módulo real da camada de BGS. Os valores obtidos para estes módulos variaram de 2970 a 5.000 kgf/cm².

Definidos todos os parâmetros, foi possível processar o cálculo das estruturas de pavimento invertido. A espessura de BGS adotada para este estudo foi de 12cm. Esta espessura vem sendo adotada por diversos projetistas, inclusive os franceses e australianos por ser uma espessura onde é ainda possível obter-se bons resultados de compactação da camada e não espessa bastante para o aparecimento de problemas de resiliência do material.

Para a camada de BGTC, a espessura adotada neste estudo foi de 17cm. Esta espessura possibilita a execução em uma única camada compactada que, sendo bem executada, não apresentará compactação deficiente em nenhuma região da camada.

O processamento destas estruturas resultou nos valores de deformações e tensões que possibilitaram os cálculos de N_{AASHTO} de fadiga das camadas críticas do pavimento, ou seja, revestimento, sub-base e subleito. A partir destes dados, que estão apresentados no quadro 5.2, foram efetuadas *mutatis mutandis* às estruturas de pavimento flexível, as determinações das curvas de comportamento das estruturas. Entretanto, como também pode ser visto neste mesmo quadro, os valores de número terminal de solicitações para o CBUQ apresentam um comportamento praticamente insensível a variação de módulo do subleito. Desta forma, foi adotado um valor de referência máximo de fadiga para as estruturas nesta análise. As curvas limitaram-se a descrever o comportamento das camadas de BGTC e subleito. Este valor foi introduzido no diagrama de dimensionamento juntamente com o critério do CDH já utilizado nos diagramas de dimensionamento de pavimentos flexíveis. A figura 5.1 mostra as curvas do critério californiano e de tendência do CBUQ para este estudo.

Quadro 5.2 - Plano Fatorial Principal de Pavimento Invertido
Verificação das camadas críticas do pavimento

REVESTIMENTO																
E_{si}	$(N_{fadiga})_{AASHTO}$								$(E_{s})_{máx} (x 10^4)$							
	$h_{i_4\text{ cm}}$	$h_{i_6\text{ cm}}$	$h_{i_8\text{ cm}}$	$h_{i_10\text{ cm}}$	$h_{i_12\text{ cm}}$	$h_{i_14\text{ cm}}$	$h_{i_16\text{ cm}}$	$h_{i_18\text{ cm}}$	$h_{i_4\text{ cm}}$	$h_{i_6\text{ cm}}$	$h_{i_8\text{ cm}}$	$h_{i_10\text{ cm}}$	$h_{i_12\text{ cm}}$	$h_{i_14\text{ cm}}$	$h_{i_16\text{ cm}}$	$h_{i_18\text{ cm}}$
500	3,95E+07	2,23E+07	2,26E+07	2,70E+07	3,44E+07	4,55E+07	5,86E+07	7,39E+07	1,073	1,277	1,271	1,205	1,119	1,028	0,952	0,887
1000	3,04E+07	1,88E+07	2,03E+07	2,50E+07	3,25E+07	4,45E+07	5,97E+07	7,54E+07	1,162	1,344	1,313	1,233	1,138	1,035	0,947	0,882
1500	2,60E+07	1,72E+07	1,94E+07	2,43E+07	3,23E+07	4,43E+07	6,01E+07	7,78E+07	1,218	1,381	1,332	1,243	1,141	1,036	0,944	0,873
2000	2,36E+07	1,63E+07	1,88E+07	2,38E+07	3,22E+07	4,45E+07	6,16E+07	8,06E+07	1,255	1,404	1,344	1,251	1,142	1,035	0,937	0,864

SUB-BASE																
E_{si}	$(N_{fadiga})_{AASHTO}$								$(\sigma)_{máx} (kgf/cm^2)$							
	$h_{i_4\text{ cm}}$	$h_{i_6\text{ cm}}$	$h_{i_8\text{ cm}}$	$h_{i_10\text{ cm}}$	$h_{i_12\text{ cm}}$	$h_{i_14\text{ cm}}$	$h_{i_16\text{ cm}}$	$h_{i_18\text{ cm}}$	$h_{i_4\text{ cm}}$	$h_{i_6\text{ cm}}$	$h_{i_8\text{ cm}}$	$h_{i_10\text{ cm}}$	$h_{i_12\text{ cm}}$	$h_{i_14\text{ cm}}$	$h_{i_16\text{ cm}}$	$h_{i_18\text{ cm}}$
500	7,35E+05	1,65E+06	3,38E+06	6,55E+06	1,21E+07	2,13E+07	3,58E+07	5,81E+07	6,614	6,051	5,553	5,094	4,667	4,275	3,914	3,577
1000	2,66E+06	5,08E+06	9,43E+06	1,69E+07	2,93E+07	4,96E+07	8,05E+07	1,25E+08	5,721	5,270	4,841	4,436	4,052	3,687	3,351	3,045
1500	6,17E+06	1,08E+07	1,88E+07	3,19E+07	5,30E+07	8,55E+07	1,33E+08	2,00E+08	5,135	4,746	4,361	3,993	3,641	3,309	3,002	2,720
2000	1,16E+07	1,92E+07	3,19E+07	5,20E+07	8,32E+07	1,30E+08	1,95E+08	2,84E+08	4,697	4,347	3,994	3,655	3,328	3,020	2,735	2,475

FUNDAÇÃO																
E_{si}	$(N_{fadiga})_{AASHTO}$								$(E_{s})_{máx} (x 10^4)$							
	$h_{i_4\text{ cm}}$	$h_{i_6\text{ cm}}$	$h_{i_8\text{ cm}}$	$h_{i_10\text{ cm}}$	$h_{i_12\text{ cm}}$	$h_{i_14\text{ cm}}$	$h_{i_16\text{ cm}}$	$h_{i_18\text{ cm}}$	$h_{i_4\text{ cm}}$	$h_{i_6\text{ cm}}$	$h_{i_8\text{ cm}}$	$h_{i_10\text{ cm}}$	$h_{i_12\text{ cm}}$	$h_{i_14\text{ cm}}$	$h_{i_16\text{ cm}}$	$h_{i_18\text{ cm}}$
500	2,15E+07	3,10E+07	4,28E+07	5,82E+07	7,90E+07	1,08E+08	1,47E+08	2,03E+08	2,432	2,242	2,086	1,949	1,820	1,697	1,584	1,475
1000	5,57E+07	7,84E+07	1,08E+08	1,51E+08	2,04E+08	2,86E+08	3,98E+08	5,51E+08	1,967	1,823	1,696	1,574	1,473	1,366	1,269	1,180
1500	1,05E+08	1,43E+08	1,96E+08	2,68E+08	3,70E+08	5,19E+08	7,31E+08	1,04E+09	1,709	1,594	1,486	1,386	1,290	1,196	1,108	1,025
2000	1,71E+08	2,30E+08	3,13E+08	4,26E+08	5,91E+08	8,30E+08	1,18E+09	1,68E+09	1,531	1,434	1,339	1,250	1,162	1,077	0,996	0,920

Mais uma vez foi observado o comportamento anômalo das estruturas com espessura de revestimento de 4cm, sendo da mesma forma, expurgadas do estudo.

Todas as curvas foram ajustadas em um modelo do tipo $N_{AASHTO} = \alpha E_{SL}^{\beta}$, por ser o que indicou o melhor ajuste. Para as curvas de fadiga da sub-base, o erro quadrático variou entre 0,9995 e 0,9976. Nas curvas de fadiga do subleito, os erros quadráticos situaram-se entre 0,9991 e 0,9980. Estas equações possibilitaram a confecção do ábaco de dimensionamento de pavimento invertido que, dado um módulo do subleito ou do sistema reforço do subleito + subleito conforme o procedimento descrito no item 4 e definido pelo projetista e ainda, conhecido o número de solicitações ao eixo padrão de 8,2tf obtido pela metodologia AASHTO, define-se uma alternativa de pavimento invertido de projeto.

O diagrama 5.1 apresenta a família de curvas de dimensionamento de pavimentos invertidos, onde estão concatenadas todas as considerações pertinentes a esta parte do estudo.

Figura 5.1 - Gráfico Auxiliar Pav. Invertido - Espessuras Mínimas Nadm CBUQ e CDH

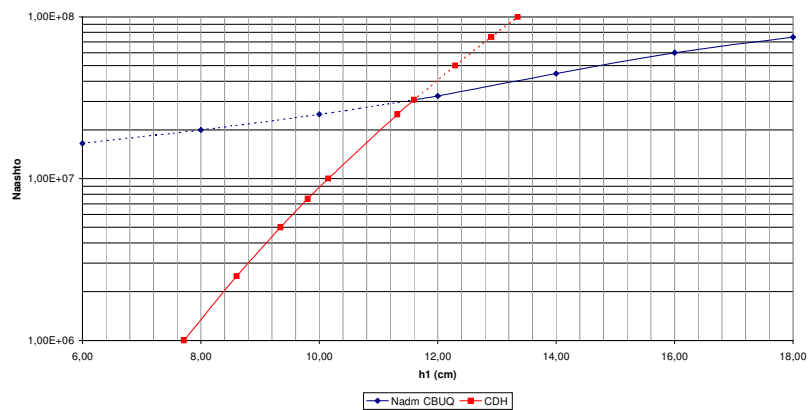
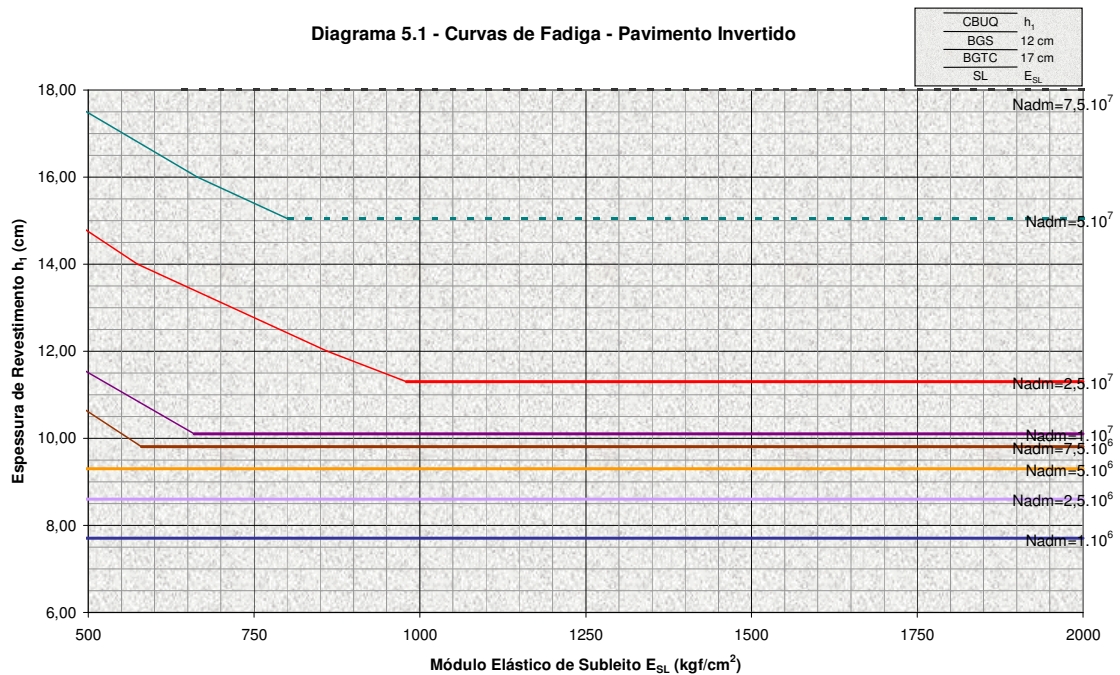


Diagrama 5.1 - Curvas de Fadiga - Pavimento Invertido



6. Verificação do Acréscimo do Valor de Módulo em Função da Presença de Reforço do Subleito

Foram analisadas algumas situações de implantação de reforço do subleito visando melhoria do valor de suporte do subleito para posterior dimensionamento.

No quadro, a seguir, estão apresentados os casos estudados para esta verificação.

Quadro 6.1 Plano Fatorial de Análise do Módulo Equivalente

Módulo do Subleito (kgf/cm ²)	Espessura de Reforço (cm)	Módulo do Reforço (kgf/cm ²)
300, 400	30,40,60,80,100	600, 800, 1.000, 2.000
800		1.000, 2.000
1.000		2.000

Cabe notar que os valores intermediários, tanto de espessura, quanto de módulos elásticos do subleito e seu reforço, podem ser obtidos através de interpolação simples, sem acúmulo de erros residuais excessivos.

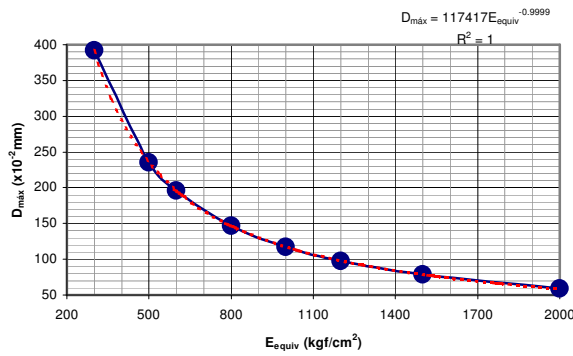
O processamento das estruturas reforçadas foi executado de maneira a simular uma carga de eixo simples com rodagem dupla e, desta forma, obter suas respostas a este tipo de carregamento. A partir destes resultados, foram obtidas curvas de comportamento, que foram separadas quanto à espessura de reforço a ser utilizada, de maneira a verificar a adoção de reforço. Desta forma, sua apresentação é feita através de cinco diagramas de determinação do módulo equivalente do sistema reforço + subleito. Este módulo deverá ser utilizado nos diagramas de dimensionamento do pavimento novo.

A equivalência admitida para esta análise foi a equivalência deflectométrica no topo do sistema. A equivalência foi feita através do processamento de oito estruturas auxiliares pelas quais foi determinada uma curva de comportamento e sua respectiva equação. Através desta, foi possível determinar o módulo equivalente do sistema.

Os Módulos Elásticos adotados para as estruturas, constituídas de camada única homogênea, calculadas para possibilitar a correspondência citada foram de 300, 500, 600, 800, 1.000, 1.200, 1.500 e 2.000 kgf/cm².

A curva obtida está apresentada no diagrama 6.1 a seguir. Cabe salientar que considerou-se o subleito como camada finita com espessura considerada, para esta análise, de 700cm sobrejacente ao substrato rochoso.

Diagrama 6.1 - Correlação de Módulos Elásticos e Deflexões



Apresentam-se a seguir os diagramas 6.2 a 6.6 de Determinação do Módulo Equivalente do Sistema Reforço + Subleito, para cada uma das espessuras de reforço consideradas.

Diagrama 6.2 - Determinação do Módulo Equivalente do Sistema Reforço + Subleito $h_{\text{ref}}=30\text{cm}$

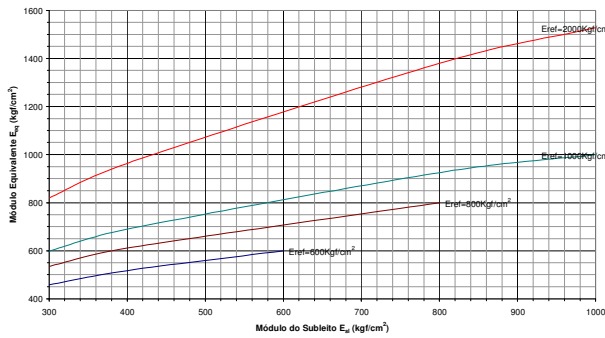


Diagrama 6.3 - Determinação do Módulo Equivalente do Sistema Reforço + Subleito $h_{\text{ref}}=40\text{cm}$

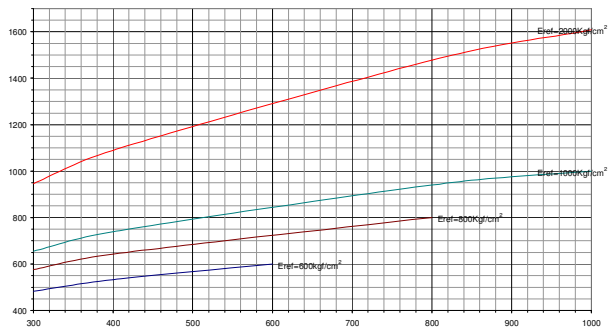


Diagrama 6.4 - Determinação do Módulo Equivalente do Sistema Reforço + Subleito $h_{\text{ref}}=60\text{cm}$

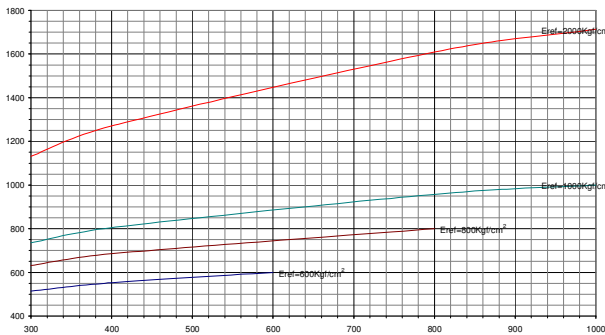


Diagrama 6.5 - Determinação do Módulo Equivalente do Sistema Reforço + Subleito $h_{\text{ref}}=80\text{cm}$

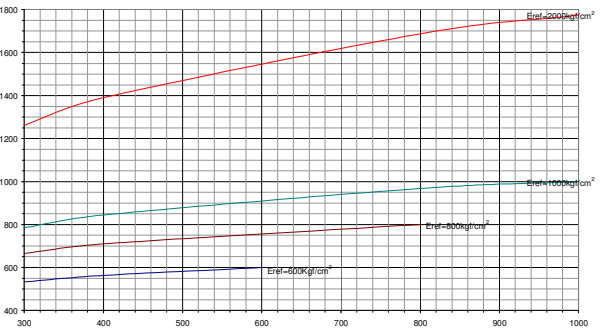
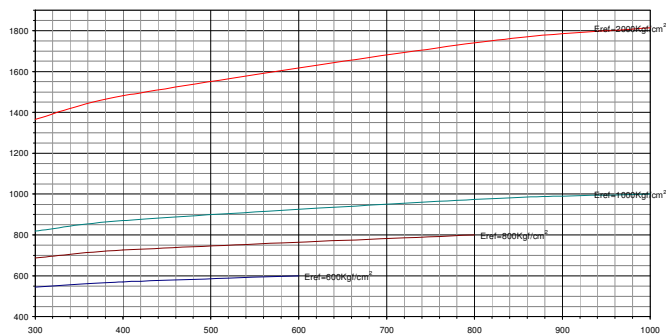


Diagrama 6.6 - Determinação do Módulo Equivalente do Sistema Reforço + Subleito $h_{\text{ref}}=100\text{cm}$



7. Exemplos de Aplicação Prática

Exemplo1 - Dada a implantação de uma rodovia em segmento cujo estudo e tráfego determina, para o período de projeto, uma solicitação de $1 \cdot 10^7$ do eixo-padrão de 8,2t (AASHTO) e subleito cujo solo apresenta módulo de 1.000 kgf/cm^2 , dimensionar estrutura de pavimento compatível. Existe recurso abundante de jazida de solo no trecho com módulo elástico de 2.000 kgf/cm^2 .

Dados: $N_{\text{AASHTO}} = 1 \cdot 10^7$
 $E_{\text{SL}} = 1.000 \text{ kgf/cm}^2$
 $E_{\text{REF}} = 2.000 \text{ kgf/cm}^2$

a) Dimensionamento do pavimento sem reforço do subleito

Diagrama	4.1 (flexível)	4.2 (flexível)	4.3 (flexível)	5.1 (invertido)
Revestimento	>18,0cm	17,5cm	15,5cm	10,5cm
Base	15,0cm	25,0cm	35,0cm	12,0cm
Sub-base	-	-	-	17,0cm
Módulo da fundação	1.000	1.000	1.000	1.000

b) Dimensionamento do pavimento com reforço do subleito de 30cm

Diagrama	4.1 (flexível)	4.2 (flexível)	4.3 (flexível)	5.1 (invertido)
Revestimento	17,0cm	14,0cm	14,0cm	10,5cm
Base	15,0cm	25,0cm	35,0cm	12,0cm
Sub-base	-	-	-	17,0cm
Módulo da fundação	1.530	1.530	1.530	1.530

c) Dimensionamento do pavimento com reforço do subleito de 60cm

Diagrama	4.1 (flexível)	4.2 (flexível)	4.3 (flexível)	5.1 (invertido)
Revestimento	16,0cm	14,0cm	13,5cm	10,5cm
Base	15,0cm	25,0cm	35,0cm	12,0cm
Sub-base	-	-	-	17,0cm
Módulo da fundação	1.710	1.710	1.710	1.710

Exemplo 2 - Dada a implantação de uma rodovia em segmento cujo estudo e tráfego determina, para o período de projeto, uma solicitação de $2,5 \cdot 10^7$ do eixo-padrão de 8,2tf (AASHTO) e subleito cujo solo apresenta módulo de 600 kgf/cm^2 , dimensionar estrutura de pavimento compatível. Existe recurso de utilização de jazida de solo no trecho com módulo elástico de 2.000 kgf/cm^2 .

Dados: $N_{\text{AASHTO}} = 2,5 \cdot 10^7$
 $E_{\text{SL}} = 600 \text{ kgf/cm}^2$
 $E_{\text{REF}} = 2.000 \text{ kgf/cm}^2$

a) Dimensionamento do pavimento sem reforço do subleito

Diagrama	4.1 (flexível)	4.2 (flexível)	4.3 (flexível)	5.1 (invertido)
Revestimento	>18,0cm	>18,0cm	18,0cm	14,0cm
Base	15,0cm	25,0cm	35,0cm	12,0cm
Sub-base	-	-	-	17,0cm
Módulo da fundação	600	600	600	600

b) Dimensionamento do pavimento com reforço do subleito de 30cm

Diagrama	4.1 (flexível)	4.2 (flexível)	4.3 (flexível)	5.1 (invertido)
Revestimento	>18,0cm	>18,0cm	18,0cm	11,5cm
Base	15,0cm	25,0cm	35,0cm	12,0cm
Sub-base	-	-	-	17,0cm
Módulo da fundação	1.180	1.180	1.180	1.180

c) Dimensionamento do pavimento com reforço do subleito de 60cm

Diagrama	4.1 (flexível)	4.2 (flexível)	4.3 (flexível)	5.1 (invertido)
Revestimento	>18,0cm	>18,0cm	17,5cm	11,5cm
Base	15,0cm	25,0cm	35,0cm	12,0cm
Sub-base	-	-	-	17,0cm
Módulo da fundação	1.450	1.450	1.450	1.450

8. Comentários e Conclusões

Os diagramas permitem dimensionamento de pavimentos flexíveis para valores de N_{AASHTO} de $1 \cdot 10^6$ a $1 \cdot 10^7$ para estruturas com 15 ou 25cm de espessura de base e até $2,5 \cdot 10^7$ para espessura de 35cm de base. No diagrama de dimensionamento do pavimento invertido, é possível determinar estruturas invertidas que suportem solicitações até $7,5 \cdot 10^7$ (AASHTO). Entretanto, nota-se que até o valor de $5 \cdot 10^6$, a espessura de CBUQ mínima é determinada através do critério californiano, independente dos resultados do processamento. Por ter em sua constituição uma sub-base de BGTC, seria previsível que o pavimento invertido apresentasse um desempenho diferente daquele esperado para o pavimento flexível, analisando-se as duas estruturas com uma mesma espessura de revestimento. Desta forma, a medida que o projeto define número de solicitações de projeto maiores, a tendência é de migrar-se da alternativa de pavimento flexível para pavimento invertido. Contudo, a adoção de uma ou outra alternativa deverá ser analisada pelo projetista de modo a eleger a alternativa que melhor se enquadre às necessidades do projeto.

Para valores de número de solicitações ao eixo padrão de 8,2tf AASHTO superiores aos contemplados neste estudo, sugere-se verificação da necessidade de implantação de novas faixas adicionais e/ou duplicações. Caso o fluxo esteja em uma condição específica de confinamento, recomenda-se a verificação da possibilidade da adoção de estrutura de pavimento rígido constituído de placas de concreto de cimento Portland.

Os valores a serem determinados nos diagramas são valores mínimos para cada uma das estruturas. Desta forma, não deverão ser feitos arredondamentos que impliquem em valores inferiores àqueles lidos.

Todos os diagramas permitem interpolações entre curvas desde que os valores sejam obtidos com o devido cuidado e precisão. Não é recomendado qualquer tipo de extrapolação de valores. Este procedimento poderá resultar em valores não confiáveis.

Especial atenção deverá ser dada quanto a execução da camada de BGS, principalmente no caso de adoção de pavimentos invertidos. Deverá ser garantido, além de uma boa execução da camada, o seu travamento lateral de maneira a não possibilitar o desconfinamento da camada.

Deverá ser verificada a necessidade de implantação de drenos de pavimento para manter-se a convicção de bom desempenho da estrutura dimensionada.

Agradecimentos

Meus agradecimentos aos grandes profissionais da área rodoviária que tive o privilégio de conhecer em minha vida profissional. Dentre eles, destaco os nomes de Henriqueta Giolito Porto, que foi minha professora na cadeira de estradas na Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie e orientadora do meu primeiro estágio em estradas na área de pavimentação na DERSA; Wagner Silas de Castro Ribeiro, que me transmitiu, incondicionalmente, seus conhecimentos em pavimentação como apenas um amigo poderia fazer, ao longo de doze anos de convivência profissional; Carlos Yukio Suzuki, que gentilmente convidou-me a assistir aulas na PTR/EPUSP onde aprendi muitos conceitos importantes e que venho aplicando diariamente; Djalma R. A. C. Martins Pereira que sempre me incentiva a buscar a excelência do conhecimento, apoiando e acreditando em meu trabalho.

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha admirável, carinhosa e conselheira mãe (*in memoriam*), meu sempre fiel e companheiro pai e a Deus por ter me dado estes pais tão presentes, amorosos e bons.

Dedico ainda ao meu sempre eterno Mestre Armando Martins Pereira que me inspira, ensina e orienta. Sua generosidade, sabedoria, humildade e senso ético serão lições para sempre em minha vida.

Bibliografia

Dac Chi, N. – Les Graves Traitées au Ciment – Leur Principales Caractéristiques – Leur Comportement à la Fatigue. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n.94 – Paris, 1978.

Finn, F. N., C. L. Saraf, R. Kulkarni, K. Nair, W. Smith, A. Abdullah – Development of pavement Structural Subsystems. NCHRP Report 291 – Transportation Research Board, 1986.

Forsyth, R.; Zube, E. – Flexible Pavement Maintenance Requirements as Determined by Deflection Measurements. Highway Research Record n. 129 – Evaluation of Pavements by Deflection Studies for Maintenance Purposes – Highway Research Board – Washington D.C., 1966.

Kopperman, S., G. Tiller, M. Tseng – Elsym5, Interactive Microcomputer Version, User's Manual. Report n. FHWA-TS-87-206, Federal Highway Administration, 1986.

Pereira, A. M. – Estudo de Soluções para a Constituição do Pavimento Destinado às Extensões da Pista Nova da BR-381/MG que não Foram ainda Objeto de Pavimentação – Curitiba, 1999.

Santucci, L. E. – Thickness Design Procedure for Asphalt and Emulsified Asphalt Mixes. – Technical Paper n. 175 – Chevron Asphalt Company, San Francisco, 1976.