

SUGESTÃO DE FATORES DE AJUSTE DE DRENAGEM PARA O MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DO DNER

Carlos Yukio Suzuki
Felipe Issa Kabbach Junior
Antonio Carlos Oquendo Pereira
Angela Martins Azevedo

Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

Fazendo-se uso do *Falling Weight Deflectometer*, foi realizado levantamento deflectométrico em trecho experimental, com extensão aproximada de 840 m, direcionado para a avaliação da variação dos módulos resilientes das camadas e do comportamento estrutural diante da infiltração d'água pela borda do pavimento. A partir dos dados obtidos no segmento experimental, pôde-se avaliar a magnitude desses parâmetros e assim efetuar, através de modelos analíticos que expressam os métodos de dimensionamento vigentes no país, a estimativa de redução da vida útil do pavimento analisado. Propõe-se assim a introdução de um parâmetro de ajuste da espessura, denominado Fator de Ajuste de Drenagem, para consideração das condições adversas de drenagem no procedimento de dimensionamento de estruturas de pavimentos flexíveis preconizado pelo DNER.

ABSTRACT

Employing the *Falling Weight Deflectometer*, deflection measurements were carried out in a test section, about 840 m long, in order to evaluate the resilient modulus layers and the structural behavior variations due to water infiltration from pavement edge. From experimental sections data obtained, it was possible to evaluate the magnitude of these parameters and then realize, through analytical models that represent the actual national design methods, the reduction estimate of evaluated pavement lifetime. Finally, this work propose the introduction of a thickness adjustment parameter, called Drainage Adjustment Factor, to consider the adverse drainage conditions in the flexible pavement structure design procedure advocated by DNER.

1. INTRODUÇÃO

A infiltração de água incontrolada nos vários componentes da estrutura do pavimento é responsável por desempenhos insatisfatórios em pavimentos. Em geral, os efeitos adversos são manifestados em forma de trilhas de roda e trincamentos por fadiga, nos pavimentos asfálticos (CA); e trincamentos e escalonamentos prematuros, nos pavimentos de concreto de cimento portland (CCP), acarretando na antecipada redução do nível de serventia.

Renomados métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis já consideram a influência das condições de drenagem quando do projeto destas estruturas, tanto no que se refere à implantação de sistemas de drenagem subsuperficiais, quanto na determinação dos materiais a serem utilizados e das espessuras das camadas estruturais dos pavimentos.

No Brasil, verificou-se que procedimentos antigos de dimensionamento, não mais utilizados atualmente, preconizavam considerações acerca da pluviosidade característica dos locais onde os pavimentos seriam implantados, porém, com o passar dos anos e com a utilização de critérios modernos de dimensionamento, estas considerações foram resumidas a simples comentários, passando a não ter qualquer influência na estrutura dimensionada.

O presente trabalho foi desenvolvido com a intenção de avaliar as considerações relacionadas à drenagem inadequada no desempenho do pavimento, tanto no meio técnico nacional quanto internacional, propondo as modificações julgadas adequadas para o procedimento de dimensionamento utilizado no país.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos deste trabalho podem ser resumidos da seguinte maneira:

- Avaliar a influência das condições de drenagem subsuperficial no desempenho dos pavimentos através da medição de deflexões e retroanálise dos módulos resilientes em estrutura sujeita a saturação.
- Propor fatores de ajuste devido à drenagem no método vigente no país para corrigir a espessura total da estrutura para pavimentos mal drenados e sujeitos ao efeito danoso da presença d'água.

3. LEVANTAMENTO DEFLECTOMÉTRICO REALIZADO NO TRECHO EXPERIMENTAL

Com vistas à avaliação da influência da infiltração d'água pela borda do pavimento no desempenho estrutural do mesmo, foi realizado em junho de 2003 o levantamento deflectométrico logo após um período de três dias consecutivos de chuva e um dia sem ocorrência de precipitação. Os dados pluviométricos levantados junto ao Departamento de Meteorologia da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, situada nas proximidades do segmento em estudo, indicam uma precipitação total de 52,2 mm nos três dias.

Fazendo-se uso do equipamento *Falling Weight Deflectometer* (FWD) foram levantadas bacias de deflexão de 20 em 20 m, a 1,5 m do bordo direito, no eixo e a 1,5 m do bordo esquerdo, portanto, em cada estaca foram levantadas 3 bacias de deflexões.

3.1. Características do Trecho

O trecho experimental está localizado no município de Piracicaba, estado de São Paulo. Consiste em parte da pista nova, que se encontra em processo de implantação na duplicação da rodovia SP-308, Rodovia do Açúcar, com extensão de 840 m em tangente, greide praticamente em nível e largura de plataforma de 10,5 m, sendo que, aproximadamente, metade do segmento está construído em corte e metade em aterro.

A estrutura do pavimento estudado é do tipo flexível, constituída por subleito de solo laterítico, reforço de subleito com material laterítico selecionado, com cerca de 20 cm de espessura, camada de base granular, com aproximadamente 25 cm de espessura, e camada de rolamento em CA de granulometria aberta "binder" e cerca de 5 cm de espessura. Sobre esta última camada será, ainda, adicionada uma camada de rolamento em CA denso.

Especificamente no segmento experimental, não foi prevista a implantação de sistema de drenagem subsuperficial.

O segmento não havia sido ainda aberto ao tráfego, não apresentando, portanto, defeitos como trilhas de roda ou trincamento, característicos da solicitação deste e, apesar do revestimento ser constituído de binder, a infiltração através da superfície pode ser considerada desprezível. O lençol freático encontrava-se distante da superfície e não foram localizadas nascentes quando da execução do segmento em questão. Portanto conclui-se que a infiltração d'água predominante ocorreu pelas bordas do pavimento e foi agravada devido à ausência do sistema de drenagem não implantado.

3.2. Apresentação e Análise dos Resultados

Com base nos resultados do tratamento estatístico, apresentados na Tabela 1, observa-se que as deflexões características, em ambas as bordas, apresentam valores cerca de 65% superiores à deflexão característica no eixo.

Tabela 1: Resumo dos resultados do levantamento deflectométrico

Discriminação	Bordo Esquerdo	Eixo Central	Bordo Direito
Deflexão Máxima - D_0			
- Média (10^{-2} mm)	70,8	44,1	75,0
- Característica (10^{-2} mm)	88,0	53,5	89,1
- Desvio em relação à deflexão característica no eixo (%)	64,5	0,0	66,5
Deflexão Máxima - D_{120}			
- Média (10^{-2} mm)	2,5	2,3	2,6
- Característica (10^{-2} mm)	3,0	2,7	3,1
- Desvio em relação à deflexão característica no eixo (%)	11,1	0,0	14,8

A Tabela 1 apresenta também os resultados obtidos através do tratamento estatísticos dos dados, para a deflexão obtida a 1,20 m do ponto de aplicação da carga, D_{120} , onde se constata que a variação entre as deflexões características do eixo e de ambos os bordos é inferior a 15%.

Na Tabela 2, E_1 , E_2 e E_3 , correspondem aos módulos de resiliência das camadas de revestimento (CA), de base granular e do subleito, respectivamente.

Estatisticamente, analisou-se a média das relações entre os módulos obtidos em cada borda com o do eixo, para cada estaca. Optou-se por este procedimento com a finalidade de manter-se a vinculação existente entre os três pontos analisados em uma mesma estaca.

Tabela 2: Resumo dos resultados da retroanálise

Discriminação	Bordo Esquerdo	Eixo Central	Bordo Direito	Média
Módulo de Resiliência - E₁ - CA				
- Média (MPa)	2349	2462	2064	-
- Desvio Padrão (MPa)	1287	1028	1372	-
- Coeficiente de variação (%)	54,8	41,8	52,7	-
- Média da Relação Bordo/Eixo (%)	113,4	-	120,4	116,9
Módulo de Resiliência - E₂ - Base Granular				
- Média (MPa)	134	271	131	-
- Desvio Padrão (MPa)	40	69	31	-
- Coeficiente de variação (%)	29,8	25,5	23,7	-
- Média da Relação Bordo/Eixo (%)	53,0	-	49,5	51,3
Módulo de Resiliência - E₃ - Subleito				
- Média (MPa)	315	526	330	-
- Desvio Padrão (MPa)	184	145	156	-
- Coeficiente de variação (%)	58,3	27,6	47,2	-
- Média da Relação Bordo/Eixo (%)	76,8	-	66,6	71,7

Com base no exposto, conclui-se que:

- A variação encontrada entre os módulos médios do eixo e dos bordos do CA, está incluída na dispersão das diversas fases do procedimento de execução do revestimento.
- A maior parcela da redução da capacidade estrutural é causada pela perda de suporte na camada de base, evidenciada pela redução do módulo resiliente (E₂) em cerca de 50% em relação ao do eixo, no caso estudado.
- O subleito, apresentou uma redução de cerca de 30% no módulo de resiliência (E₃) em relação ao eixo.
- A infiltração d'água pelas bordas da estrutura do pavimento ocasiona uma redução na capacidade estrutural do pavimento nas extremidades da plataforma em relação ao eixo.

4. SUGESTÃO DE ADAPTAÇÃO DOS MÉTODOS VIGENTES NO PAÍS

Considerando-se que a infiltração d'água na estrutura do pavimento reduz drasticamente a capacidade resistente dos materiais constituintes, é recomendável a consideração dos efeitos causados por um sistema de drenagem inadequado, traduzidos em variações na espessura das camadas estruturais do pavimento, quando do dimensionamento do mesmo.

Portanto, propõe-se a inclusão de um parâmetro, denominado Fator de Drenagem (Fd) no Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNER, para ajustar a espessura total necessária de pavimento, em termos de material granular, calculada em função do índice de suporte do subleito e do número de solicitações do eixo padrão de 82 kN.

4.1. Desenvolvimento do Coeficiente de Drenagem (Cd)

Os valores para Cd foram estimados, tendo como base a metodologia adotada pela AASHTO na determinação dos coeficientes de drenagem para pavimentos de CA.

Considerou-se inicialmente três estruturas de pavimento sendo características de tráfego leve, médio e tráfego pesado, conforme apresentado na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Estruturas utilizadas no desenvolvimento dos Coeficientes de Drenagem

Caso	Espessura de CA, h_1 (cm)	Espessura da Base Granular, h_2 (cm)	Espessura Total, segundo DNER, h_t (cm)
A	5	20	30
B	7,5	30	45
C	10	40	60

Para o estudo de simulação foram adotados Coeficientes de Drenagem de 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 com a função de corrigir o coeficiente estrutural da camada de base e, em seguida, foram calculadas as novas espessuras totais em termos de camada granular (H_t).

Determinaram-se, então, as variações necessárias na espessura de CA para que fossem restaurados os H_t originais, apresentados na Tabela 3. Os resultados deste procedimento estão apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Variação na espessura da camada de CA em função da inclusão dos Cd

Valores de Cd	Espessura equivalente em termos de camada granular (cm)			Redução ou acréscimo de espessura (cm)					
				Em termos de camada granular			Em termos de CA		
	Caso			Caso			Caso		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1,25	35	52,5	70	-5	-7,5	-10	-2,5	-3,75	-5
1	30	45	60	0	0	0	0	0	0
0,75	25	37,5	50	5	7,5	10	2,5	3,75	5
0,5	20	30	40	10	15	20	5	7,5	10

Adotando-se valores usuais para os módulos resilientes e coeficientes de Poisson dos materiais e para a magnitude das cargas aplicadas, fazendo-se uso do programa computacional ELSYM 5, determinaram-se as deflexões (D_0) atuantes na superfície de cada estrutura de pavimento apresentada na Tabela 3. O desenho esquemático considerado e os parâmetros adotados estão apresentados na figura 1.

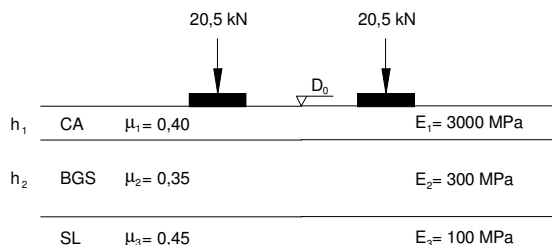


Figura 1: Esquema estrutural considerado

Paralelamente, procurou-se avaliar a influência da redução da capacidade de suporte da camada de base no desempenho estrutural do pavimento. Para tanto, foram determinadas as deflexões (D_0) para diferentes valores de módulo resiliente para a camada de base.

A variação no valor do módulo da camada de base contemplou um valor superior ao padrão adotado, visando à consideração de condições mais favoráveis do que a inicial, e dois inferiores, de maneira que fosse englobada a variação de deflexão observada em campo, para simular as condições de drenagem inadequada.

O esquema estrutural, bem como os demais parâmetros foram mantidos constantes conforme apresentado na figura 1.

Com a finalidade de determinar a variação necessária na espessura do CA para que as deflexões retornem ao nível original, e tendo por base os valores obtidos na Tabela 4, adotaram-se três variações na espessura desta camada, sendo uma de redução (-2,5 cm) e duas de acréscimo (+ 5,0 e + 10,0 cm). Em seguida foram determinadas as deflexões para estas novas condições, considerando-se as variações no valor do módulo resiliente da camada de base.

Com os dados apresentados na Tabela 4, considerando-se a variação do módulo resiliente da camada de base, foram determinadas as espessuras de CA necessárias para o restabelecimento da deflexão original em cada estrutura. Estas espessuras estão apresentadas na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Espessura da camada de CA para o restabelecimento das deflexões originais

E_2 (kgf/cm ²)	Espessura da Camada de CA (cm)		
	A	B	C
3.500	-1,28	-1,28	-1,28
3.000	0	0	0
1.500	4,2	5	5,6
750	7,2	9,1	10

Com os valores da Tabela 5, e interpolando-se os valores apresentados na Tabela 4, obtiveram-se os Coeficientes de Drenagem indicados na Tabela 6 a seguir.

Considerando-se que os Coeficientes de Drenagem, C_d , no método da AASHTO foram concebidos para ajustar a espessura de material da estrutura projetada, ou seja, reduzindo a espessura efetiva no caso de diminuição nos módulos das camadas correspondentes, é necessário inverter esse parâmetro para determinar-se a espessura total requerida no dimensionamento.

Assim o novo fator de ajuste da espessura total necessária para o pavimento, apresentado na Tabela 8, é dado por:

$$Fd = \frac{1}{Cd} \quad (1)$$

Tendo por finalidade definir os Fatores de Ajuste de Drenagem a serem recomendados, procedeu-se à calibração dos valores estudados empregando-se os dados da pista experimental

e baseando-se em procedimentos de dimensionamento de pavimentos e reforços estruturais preconizados pelo DNER.

Tabela 6: Coeficientes de Drenagem, Cd e Fatores de Drenagem, Fd

E ₂ (kgf/cm ²)	Coeficientes de Drenagem, Cd			Fatores de Drenagem, Fd		
	A	B	C	A	B	C
3.500	1,12	1,08	1,06	0,89	0,93	0,94
3.000	1	1	1	1	1	1
1.500	0,58	0,66	0,72	1,72	1,52	1,39
750	0,27	0,39	0,5	3,7	2,56	2

4.2. Calibração dos Fatores de Ajuste de Drenagem - Fd

Com a finalidade de calibrar os Fatores de Ajuste de Drenagem determinados anteriormente, fazendo-se uso dos dados obtidos no levantamento de campo, foi realizada a análise de sensibilidade em três procedimentos de projeto a saber:

4.2.1. Método de dimensionamento do DNER para pavimentos novos

O método recomenda a utilização da equação 2 para determinação da espessura total em termos de camada granular para proteção do subleito.

$$H_t = 77,67 \times CBR^{-0,598} \times N^{0,0482} \quad (2)$$

Onde:

H_t = Espessura total em termos de camada granular (cm).

CBR = Índice de Suporte Califórnia (%).

N = Número de solicitações do eixo padrão de 82 kN.

Avaliando-se a redução na vida útil do pavimento em função da redução da capacidade de suporte do subleito, tem-se:

$$\frac{H_{t2}}{H_{t1}} = \frac{77,67 \times CBR_2^{-0,598} \times N_2^{0,0482}}{77,67 \times CBR_1^{-0,598} \times N_1^{0,0482}} \quad (3)$$

Admitindo-se que tanto a região da borda do pavimento quanto o eixo central devam resistir ao mesmo número de solicitações do eixo padrão, têm-se:

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{CBR_2}{CBR_1} \right)^{12,407} \quad (4)$$

Considerando-se que a variação no valor do CBR do subleito é muito próxima à variação obtida para o módulo de resiliência, têm-se, com base nos dados obtidos do segmento experimental, para o caso do subleito laterítico:

$$\frac{N_2}{N_1} = (0,7)^{12,407} = 1,20 \times 10^{-2} \text{ ou } \frac{N_1}{N_2} = 83 \quad (5)$$

Ou seja, a redução do módulo do subleito para 70% do valor de projeto ocasiona a diminuição da vida útil do pavimento em 83 vezes.

Avaliando-se o caso de subleitos constituído por materiais que apresentem as mesmas características do material utilizado na camada de base do pavimento do segmento experimental, ou seja, que apresente uma redução no módulo resiliente de 50%, obtém-se:

$$\frac{N_2}{N_1} = (0,5)^{12,407} = 1,84 \times 10^{-4} \text{ ou } \frac{N_1}{N_2} = 5.435 \quad (6)$$

Portanto, a redução do módulo do subleito para 50% do valor de projeto ocasiona uma redução na vida útil do pavimento de 5.435 vezes, segundo o modelo preconizado pelo DNER para dimensionamento de pavimentos flexíveis.

A seguir apresenta-se a avaliação da variação necessária na espessura equivalente, em termos de material granular, em função da redução do módulo de resiliência do subleito laterítico encontrada no trecho experimental, portanto:

$$\frac{H_{t2}}{H_{t1}} = \frac{CBR_2^{-0,598} \times N_2^{0,0482}}{CBR_1^{-0,598} \times N_1^{0,0482}} \quad (7)$$

Para N_1 igual a N_2 , objetivando alcançar a mesma vida útil em toda a plataforma do pavimento, e considerando que a variação no módulo de resiliência do subleito encontrada no campo em função do elevado teor de umidade pode ser muito próxima da variação do CBR deste material, tem-se:

$$\frac{H_{t2}}{H_{t1}} = (0,7)^{-0,598} = 1,24 \quad (8)$$

De maneira análoga, para o caso da camada de base granular, tem-se:

$$\frac{H_{t2}}{H_{t1}} = (0,5)^{-0,598} = 1,51 \quad (9)$$

4.2.2. Procedimento PRO-11 para dimensionamento de reforço

Com relação ao procedimento PRO-11, foi avaliada a variação dos valores de deflexão entre o eixo e as bordas da plataforma pavimentada do segmento experimental.

A equação apresentada no procedimento, para cálculo da deflexão máxima admissível em função de um determinado número “N” de solicitações do eixo padrão é a seguinte:

$$D_{adm} = 1023 \cdot N^{-0,176} \quad (10)$$

Onde:

D_{adm} = Deflexão admissível.

N = Número de solicitações de projeto.

Essa equação pode ser escrita da seguinte forma:

$$N = 1,265 \times 10^{17} D^{-5,682} \quad (11)$$

Portanto, avaliando-se a variação nas deflexões, têm-se :

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{1,265 \times 10^{17} D_2^{-5,682}}{1,265 \times 10^{17} D_1^{-5,682}} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{-5,682} = (1,655)^{-5,682} \quad (12)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = 5,71 \times 10^{-2} \text{ ou } \frac{N_1}{N_2} = 17,51 \quad (13)$$

Onde:

D_1 e N_1 = Referem-se à condição seca (eixo).

D_2 e N_2 = Referem-se à condição com excesso de umidade (eixo).

Ou seja, a variação de deflexões verificadas em campo entre as bordas e o eixo, segundo o procedimento PRO-11, indica que o pavimento da borda terá uma vida útil, aproximadamente, 17,5 vezes mais curta que a do pavimento situado próximo ao eixo da plataforma.

Partindo da premissa de que o número "N" de solicitações que o pavimento deve suportar é o mesmo, tanto na borda quanto no eixo da plataforma, determinou-se a espessura de reforço em CA necessária para que haja um desempenho uniforme de toda a plataforma, fez-se uso da equação 14 recomendada pelo mesmo procedimento.

$$H = 40 \times \log \frac{D_p}{D_{adm}} \quad (14)$$

A equação 14 pode ser escrita da seguinte maneira:

$$H = 40 \times \log \left(\frac{D_c}{1023 \times N^{-0,176}} \right) \quad (15)$$

$$H = 40 \times \log \left(\frac{D_c}{1023} \right) - 40 \times \log N^{-0,176} \quad (16)$$

$$H_1 - H_2 = 7,04 \log \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \quad (17)$$

ou seja,

$$H_1 - H_2 = 7,04 \log(17,51) = 8,75 \text{ cm} \quad (18)$$

Transformando a espessura de CA determinada em espessura equivalente de material granular considerando-se um coeficiente de equivalência estrutural igual a 2, obtém-se que seria necessário o acréscimo de 17,5 cm na espessura total equivalente.

A estrutura existente é formada basicamente dos materiais e espessuras indicadas na Tabela 7.

Tabela 7: Determinação da espessura total equivalente do segmento experimental

Material	Espessura da camada (cm)	Coeficiente de equivalência estrutural	Espessura equivalente (cm)
Concreto Asfáltico	5	2	10
Material Granular	25	1	25
Espessura Total Equivalente (cm)			35

Portanto, a estrutura do segmento experimental apresenta uma espessura total equivalente, em termos de material granular, igual a 35 cm. Considerando-se o acréscimo necessário de 17,5 cm para que deflexões atinjam níveis próximos ao das deflexões encontradas no eixo, obtém-se 52,5 cm, ou seja, 1,50 vezes a espessura total original da estrutura.

4.2.3. Procedimento PRO-10 para dimensionamento de reforço

De acordo com o procedimento DNER – PRO-10/79 a espessura total de reforço (H) de um pavimento expresso em termos de material granular é função da redução percentual da deflexão requerida (Δ). A correlação entre as duas variáveis é encontrada no nomograma 5, do referido método.

A solução analítica do nomograma pode ser obtida através das seguintes equações:

Para $H \leq 15,5$ cm

$$H = 0,0083 \times \Delta^2 \quad (19)$$

Onde:

$$\Delta = \frac{D_0 - D_h}{D_0} \times 100 \quad (20)$$

Para o caso de análise dos dados do trecho experimental, onde se quer determinar a diferença de espessura do revestimento para que se consiga a mesma vida útil do pavimento, em termos de deflexão, tanto nos bordos, como no eixo da pista, têm-se:

$$\Delta = \frac{73 - 44}{73} \times 100 = 39,72 \quad (21)$$

$$H = 0,0083 \times (39,72)^2 = 13,1 \text{ cm} \quad (22)$$

Considerando-se que a estrutura do segmento experimental apresenta uma espessura total equivalente em termos de camada granular igual a 35 cm, conforme apresentado na Tabela 10 e, somando-se a este valor a espessura de reforço dimensionada igual a 13,1 cm, obtém-se 48,1 cm, ou seja, 1,37 vezes a espessura total original da estrutura.

4.3. Definição do Fator de Ajuste de Drenagem, Fd

Na Tabela 8 está apresentado um resumo dos resultados obtidos pela análise de calibração desenvolvida.

Tabela 8: Fatores de ajuste da espessura total expressa em termos de material granular

Método / Procedimento	Parâmetro analisado	Fatores de Ajuste, Fd
DNER – pavimento flexível novo	Variação no módulo de resiliência do solo laterítico do subleito	1,24
	Variação no módulo de resiliência do material granular da base	1,51
DNER PRO-11	Deflexão	1,50
DNER PRO-10	Deflexão	1,37

Analisando-se os Fatores de Drenagem apresentados na Tabela 8, com os dados obtidos em campo e com os resultados apresentados na Tabela 6, observam-se as seguintes conclusões:

- O material laterítico do subleito localizado nos bordos de plataforma apresentou uma redução de 30% no módulo de resiliência com relação ao do eixo.
- O material granular constituinte da camada de base localizado nos bordos da plataforma, apresentou redução do módulo de resiliência de cerca de 50%, quando comparado com o do eixo. Ressalta-se que este material apresentava agregados arredondados e elevado teor de silte na fração fina.
- As deflexões médias verificadas nos bordos do pavimento foram cerca de 65% superiores àquela encontrada no eixo.
- Na análise de calibração do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis preconizado pelo DNER verificou-se que este requer um acréscimo na espessura total, em termos de material granular, de 24% para uma redução de 30% no módulo

resiliente do subleito e de 51% para uma redução de 50% no módulo resiliente do material da base.

- Em função dos procedimentos de dimensionamento de reforços estruturais, foram determinados fatores de ajuste da ordem de 1,4 a 1,5; em relação à estrutura existente.

Admitindo-se que as condições de drenagem verificadas no trecho experimental avaliado podem se assimilar às condições mais precárias encontradas na prática e que os fatores de ajuste obtidos, considerando-se as diversas metodologias de projeto, foram bastante uniformes e próximos de 1,5, propõem-se os valores mostrados na Tabela 9, e o emprego da seguinte equação de dimensionamento.

- Para determinação da espessura total do pavimento, H_{td} , em termos de material granular, para proteger o subleito:

$$H_{td} = 77,67 \times CBR^{-0,598} \times N^{0,0482} \times Fd \quad (23)$$

Tabela 9: Fatores de Drenagem, Fd, propostos

Condições de Projeto	Fator de Ajuste de Drenagem, Fd
Estrutura de pavimento com sistema de drenagem subsuperficial dimensionado hidraulicamente	1,00
Estruturas constituídas exclusivamente por material laterítico ou estruturas constituídas não exclusivamente de materiais não lateríticos, porém munidas de drenagem subsuperficial, sem a realização do devido dimensionamento hidráulico	1,25
Estruturas desprovidas de drenagem subsuperficial e não constituídas exclusivamente por materiais lateríticos	1,50

Cabe ressaltar que não serão recomendados Fatores de Ajuste de Drenagem inferiores a 1,0; por resultarem em estruturas com espessuras, em termos de material granular, inferiores às mínimas recomendadas pelo procedimento DNER.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O levantamento deflectométrico efetuado no trecho experimental, logo após um período de chuvas, mostrou que a infiltração d'água pelas bordas do pavimento proporcionou redução de 30% e 50% nos módulos resilientes do subleito e base estabilizada não tratada, respectivamente. Da mesma maneira foram constatados acréscimos de deflexões da ordem de 65% para as condições normal e com excesso de umidade no pavimento.

As reduções observadas nos módulos de resiliência dos materiais do trecho experimental são compatíveis com a magnitude de valores citados em diversos trabalhos que contém relatos de pesquisas desenvolvidas no Brasil e no exterior.

Análise teórica de previsão de desempenho dos pavimentos utilizando tais informações obtidas no campo e modelos que refletem os métodos de dimensionamento usuais empregados no país demonstram que a estrutura estudada pode ter sua vida útil bastante reduzida atingindo valores da ordem de 5.430 vezes inferiores aos previstos em projeto.

Os métodos e procedimentos de dimensionamento estrutural de pavimentos empregados no meio técnico nacional não utilizam, ainda, explicitamente nenhum coeficiente para levar em consideração os efeitos deletérios da presença de água livre na estrutura.

Considerando-se a importância da drenagem na vida útil do pavimento propõe-se a introdução de Fatores de Ajuste de Drenagem (Fd), para aumento da espessura total do pavimento, expresso em termos de material granular, no método de dimensionamento vigente no DNER, conforme exposto no Capítulo 5. Esta medida visa compensar eventuais condições adversas de saturação dos materiais, principalmente quando não se puder, por questões técnicas e/ou econômicas, dispor de sistemas de drenagem subsuperficial para a remoção rápida da água livre no interior da estrutura do pavimento como mencionado.

Finalmente, ressalta-se que apesar dos Fatores de Ajuste de Drenagem terem sido calibrados para a metodologia de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER, estes Fatores apresentam características regionais, em função do clima e das características dos materiais empregados na estrutura do pavimento do segmento rodoviário experimental. Portanto, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas futuras, em novas localidades, sob diferentes condições climáticas, visando à calibração destes Fatores para outras regiões do território nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. (1986) *AASHTO guide for design of pavement structures*. Washington D.C, USA.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. (1993) *AASHTO guide for design of pavement structures*. Washington D.C, USA.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. (1996) *AASHTO guide for design of pavement structures: Development of coefficients for treatment of drainage*. Washington D.C, USA
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1994a) *Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis: procedimento A: DNER-PRO/10*. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1994b) *Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis: procedimento B: DNER-PRO/11*. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1996) *Manual de pavimentação: Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis*. Rio de Janeiro.
- PEREIRA, A.C.O.(2003) *Influência da drenagem subsuperficial no desempenho de pavimentos asfálticos*. - . Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.