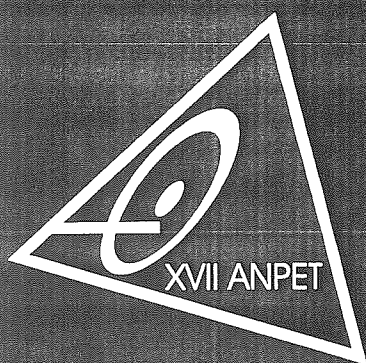


XVII ANPET

Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes



PANORAMA NACIONAL DA
PESQUISA EM TRANSPORTES 2003

Volume 1

Rio de Janeiro - Brasil
10 a 14 de Novembro de 2003

io Brasileiro
ia Cristina Fogliatti de Sinay
ia Barcellos Gouvêa Campos
ores



Anísio Brasileiro

Universidade Federal de Pernambuco

Maria Cristina Fogliatti de Sinay
Vânia Barcellos Gouvêa Campos

Instituto Militar de Engenharia

editores

STT

20

11

78

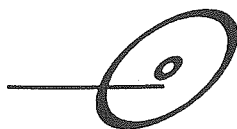
PANORAMA NACIONAL DA PESQUISA EM TRANSPORTES 2003

Anais do XVII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes
Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 10 a 14 de Novembro de 2002

2003

Volume 1

Rio de Janeiro, RJ, Brasil



**ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE
PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES**

Novembro de 2003

ÍNDICE DO VOLUME 1

PARTE I – PAVIMENTOS	1
Capítulo 1 - Comportamento mecânico de misturas asfálticas	3
Influência da densidade máxima teórica na dosagem de misturas asfálticas. Kamilla Lima Vasconcelos, Jorge Barbosa Soares, Leni Mathias Leite.	5
Estudo sobre o dano progressivo em misturas asfálticas no ensaio de fadiga à compressão diametral. Thiago Grangeiro Loureiro, Jorge Barbosa Soares, Laura Maria Goretti da Motta.	18
Ensaio de compressão axial de CBUQ - uma nova técnica de medição das deformações. Alvaro Augusto Dellê Vianna, Laura Maria Goretti da Motta, Ricardo Gil Domingues.	30
Estudo laboratorial da viscosidade rotacional de asfalto borracha. Luciano Pivoto Specht, Jorge Augusto Pereira Ceratti	41
Princípios de homogeneização aplicados em uma mistura asfáltica considerada como um compósito elástico. Jorge Barbosa Soares, Felipe Araújo Colares de Freitas, Flávio Vasconcelos de Souza.	53
Efeito da consideração do comportamento viscoelástico linear do revestimento no cálculo de tensões e deslocamentos em pavimentos asfálticos. Flávio Vasconcelos de Souza, Jorge Barbosa Soares.	65
Propriedades mecânicas de concretos asfálticos empregando borracha de pneu e óleo de xisto. Adalberto Leandro Faxina, Manoel Henrique Alba Sória.	79
Caracterização mecânica de mistura asfáltica com utilização de escória de aciaria como agregado. Verônica Teixeira Franco Cavalcante, Jorge Barbosa Soares, Laura Maria Goretti da Motta, Daniel Rodrigues Aldigueri.	91
Avaliação de misturas asfálticas com laterita lavada para a região metropolitana de Belém do Pará. Patrícia Nunes Ferreira, Simonne da Costa Amaral, Liedi Légi Bariani Bernucci.	105
Caracterização de misturas asfálticas com borracha produzidas pelos processos úmido e seco. Jorge Henrique Magalhães Pinheiro, Jorge Barbosa Soares, Leni Figueredo Mathias Leite.	116
Capítulo 2 - Propriedades de asfaltos e misturas asfálticas e dimensionamento de pavimentos	131
Dimensionamento de pavimentos asfálticos utilizando diferentes modelos de fadiga e de resiliência de solos. Sérgio Armando de Sá e Benevides, Laura Maria Goretti da Motta.	132
Estudo da influência de alguns fatores no comportamento de misturas asfálticas densas quanto à deformação permanente. Glaucio Tulio Pessa Fabbri, André Naletto Mugayar, Jisela Aparecida Santanna-Greco.	144
Avaliação comparativa de estruturas de pavimentos dimensionadas através dos métodos mecanístico e empírico do dner para a região de Campo Grande – MS.	156



AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS DIMENSIONADAS ATRAVÉS DOS MÉTODOS EMPÍRICO (DNER) E MECANÍSTICO PARA A REGIÃO DE CAMPO GRANDE - MS

Rogério Silveira Bezerra Neto

Alexandre Benetti Parreira

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Departamento de Transportes

Laura Maria Goretti da Motta

Universidade Federal do Rio de Janeiro

COPPE – Coordenação dos Programas de Pós Graduação em Engenharia

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar e comparar estruturas de pavimentos flexíveis dimensionadas através dos métodos empírico (DNER) e mecanístico. Para tanto, foram coletados alguns materiais de pavimentação utilizados na região de Campo Grande, Estado do Mato Grosso do Sul. Os materiais foram submetidos aos ensaios de caracterização, compactação, CBR, módulo de resiliência e fadiga. As análises mecanísticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional FEPAVE2, que permite a consideração do comportamento elástico não-linear dos materiais. Na análise mecanística, não foi considerado o critério de confiabilidade. Concluiu-se que as estruturas determinadas através do método do DNER apresentaram-se, em alguns casos, superdimensionadas em relação às determinadas através do método mecanístico.

ABSTRACT

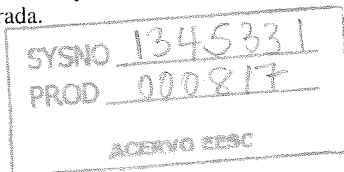
The objective of this study is to analyze and to compare structures of flexible pavements designed by two different methods: the DNER empirical method and the mechanistic method. For this purpose, some paving materials were collected on the Campo Grande region, in Mato Grosso do Sul State. Tests of characterization, compactation, CBR, resilient modulus and fatigue were performed with the materials. The software FEPAVE was employed in the mechanistic analysis, considering the non-linear resilient modulus of the materials. In the analysis, the reliability was not incorporate. It was concluded that the pavement structures obtained by the DNER method, in some cases, are larger than those obtained by the mechanistic method.

1. INTRODUÇÃO

O dimensionamento de um pavimento tem como objetivo calcular e/ou verificar espessuras e compatibilizar os materiais de forma que a vida útil do mesmo corresponda a um certo número projetado de solicitações de carga.

Os métodos de dimensionamento existentes foram, via de regra, concebidos de duas maneiras distintas: através de experiências de campo, com base na observação do desempenho de pavimentos ao longo do tempo (métodos empíricos), ou a partir da aplicação de uma teoria elástica de multicamadas, adequada para a interpretação do comportamento mecânico do conjunto pavimento/subleito (métodos mecanísticos).

No Brasil, o método empírico do DNER (Souza, 1966) tem sido usado, quase que exclusivamente, para o dimensionamento de pavimentos flexíveis. Tal método baseia-se fundamentalmente nas características de suporte do solo de fundação e dos materiais que constituem a estrutura do pavimento, bem como nos parâmetros de tráfego. Atende à limitação de deformações permanentes excessivas e de tensões que possam provocar a ruptura por cisalhamento dos solos de base, sub-base e subleito. Contudo, a limitação das deformações recuperáveis ou resilientes, cuja repetição sob ação do tráfego provoca a ruptura por fadiga dos revestimentos asfálticos, não é considerada.



Com a finalidade de se prever o comportamento dos pavimentos sob a atuação dos carregamentos, tem-se empregado os conceitos da Mecânica dos Pavimentos, cuja utilização, atualmente, ficou facilitada devido a maior disponibilidade de recursos computacionais.

As análises realizadas sob o enfoque mecanístico utilizam a teoria da elasticidade e consideram a estrutura do pavimento como um sistema de multicamadas. Essa estrutura é modelada em camadas de comportamento elástico para o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos gerados pelas cargas do tráfego. Esses valores são correlacionados com o desempenho do pavimento, permitindo assim, que sejam previstos problemas associados ao seu desgaste funcional.

Esse tipo de análise permite ainda a avaliação qualitativa do uso de novos materiais, carregamentos diferentes dos normalmente utilizados, configurações variadas de rodas e outros fatores que influenciam o desempenho dos pavimentos.

Para a utilização dos procedimentos mecanísticos é necessário que sejam conhecidos o módulo de resiliência (M_R), o coeficiente de Poisson (ν) e o comportamento à deformação permanente do subleito e dos materiais que comporão a estrutura do pavimento, e também a vida de fadiga, no caso da mistura asfáltica. Para pavimentos novos, tais parâmetros devem ser obtidos através de ensaios de cargas repetidas realizados em laboratório.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é comparar, para materiais e condições da região de Campo Grande, no Mato Grosso do Sul, estruturas de pavimentos flexíveis dimensionadas pelo método empírico do DNER e pelo método mecanístico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Em seguida, são descritos os materiais utilizados na pesquisa e os ensaios realizados.

3.1. Solos e Agregado Pétreo

Os solos e o agregado pétreo utilizados nesta pesquisa foram coletados na região de Campo Grande-MS em locais representativos da malha viária existente, jazidas em produção ou potenciais jazidas. Ao todo, foram coletados três tipos de solos denominados: arenoso, areno-argiloso e argiloso. Dos solos, o areno-argiloso é utilizado como base do tipo 'solo arenoso fino laterítico - SAFL' (Nogami e Villibor, 1995), e os outros dois, o argiloso e o arenoso, são típicos do subleito da região, sendo que o arenoso também tem sido usado na construção de reforço, sub-base e base (SAFL) de pavimentos locais. O agregado pétreo, brita 1, é de natureza basáltica, sendo muito utilizado na região na produção de misturas asfálticas. A Tabela 1 e a Figura 1 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos nos ensaios de caracterização e as classificações dos materiais, e suas respectivas curvas granulométricas.

Tabela 1: Caracterização e classificação dos solos da região de Campo Grande-MS

Solo	LL (%)	IP (%)	ρ_s (g/cm ³)	HRB	USCS	MCT
Argiloso	58	18	3,035	A-7-5	CL	LG'
Areno-argiloso	30	9	2,714	A-4	SC	LG'
Arenoso	-	NP	2,672	A-2-4	SM	LA

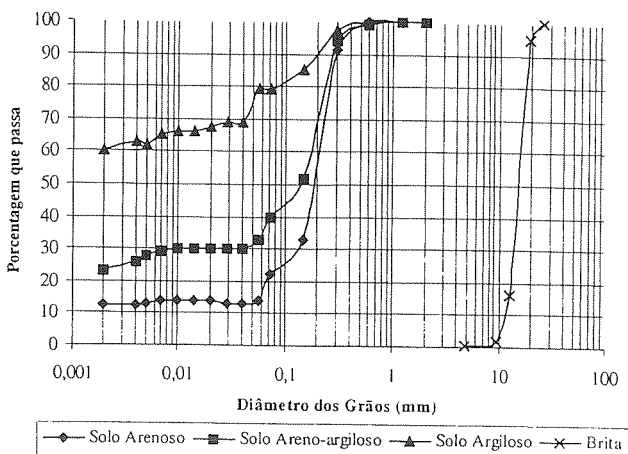


Figura 1: Curvas granulométricas dos materiais da região de Campo Grande-MS

3.2. Misturas Solo-Agregado

Nesta pesquisa, foram estudadas duas misturas do tipo solo-agregado com a finalidade de aplicá-las na construção de bases de pavimentos. Estas misturas, compactadas na energia modificada, foram dosadas conforme o critério de Nogami & Villibor (1995) para “Solo Laterítico – Brita Descontínua”, utilizando-se o solo argiloso, o solo arenoso e o agregado pétreo, brita 1, descritos anteriormente, na composição das misturas. A Figura 2 e a Tabela 2 apresentam, respectivamente, as curvas granulométricas e a composição percentual, em termos de massa seca, das referidas misturas.

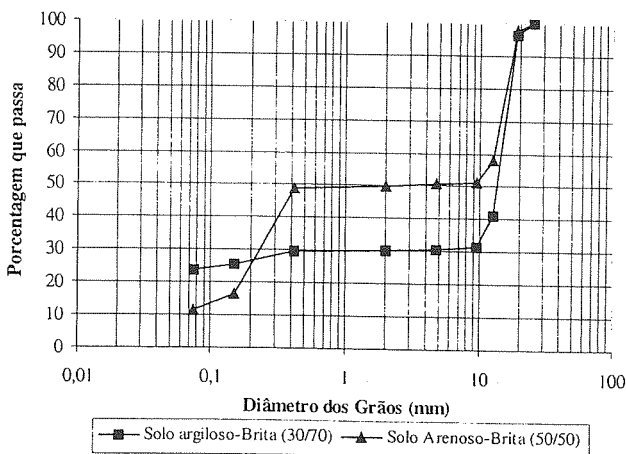


Figura 2: Curvas granulométricas das misturas solo-agregado estudadas

**Tabela 2:** Composição das misturas “Solo Laterítico - Brita Descontínua”

Mistura	Brita (%)	Solo Arenoso (%)	Solo Argiloso (%)
Solo Argiloso-Brita	70	–	30
Solo Arenoso-Brita	50	50	–

3.3. Mistura Asfáltica

Nesta pesquisa, estudou-se também uma mistura asfáltica do tipo CBUQ muito utilizada na região de Campo Grande-MS como camada de rolamento. Os corpos-de-prova ensaiados foram moldados com material retirado diretamente da usina que abastece a referida região. A Tabela 3 apresenta as principais características da referida mistura.

Tabela 3: Características da mistura asfáltica utilizada na região de Campo Grande-MS

Granulometria da mistura	Centro da Faixa C do DNER
Ligante asfáltico	CAP 20 convencional
Teor de asfalto (%)	5,5
Densidade aparente	2,474
Estabilidade (kgf)	1240
Fluência (1/100’’)	13

3.4 Ensaios para se determinar o comportamento mecânico dos materiais

Os materiais de subleito e de base (SAFL e misturas solo-agregado) foram submetidos aos ensaios de compactação e CBR conforme os procedimentos descritos nas normas DER-M-13-71 (DER-SP, 1971) e DER-M-53-71 (DER-SP, 1974), respectivamente. Os materiais de subleito foram compactados na energia normal e os de base nas energias intermediária, no caso do solo arenoso, e modificada, no caso do solo areno-argiloso e das misturas solo-brita.

Para estes mesmos materiais, foram realizados ensaios triaxiais cíclicos visando a determinação dos respectivos módulos de resiliência. Para cada tipo de subleito e base, foram ensaiados 3 corpos-de-prova moldados na umidade ótima e massa específica seca máxima determinadas no ensaio de Proctor. Para a mistura asfáltica, foram realizados ensaios de compressão diametral cíclicos visando a determinação do módulo de resiliência e da vida de fadiga. Todos os ensaios de cargas repetidas, triaxiais e compressão diametral, foram realizados no Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de compactação e CBR para os materiais geotécnicos estudados.

Analisando-se estes resultados, observa-se que os materiais de subleito, solos argiloso e arenoso, com CBR iguais a 20% e 62% e baixa expansão, podem ser considerados, respectivamente, materiais com elevada e extraordinariamente elevada capacidade de suporte. As bases também apresentam elevada capacidade de suporte e baixa expansão, destacando-se o CBR da mistura solo-arenoso brita (50/50), que atingiu o valor de 290%.

A Tabela 5 apresenta os resultados da calibração do modelo que representa a variação do módulo de resiliência dos materiais geotécnicos estudados em função, simultaneamente, das tensões desvio e confinante.

**Tabela 4:** Resultados dos ensaios de compactação e CBR para os materiais de subleito e base

Material	Energia de Compactação	Aplicação	W_{dt} (%)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	CBR (%)	Expansão (%)
Solo Argiloso	Normal	Subleito	26,2	1,545	20	0,25
Solo Arenoso	Normal	Subleito	9,8	1,980	62	0
	Intermediária	Base	9,0	2,010	81	0
Solo Areno-argiloso	Modificada	Base	11,8	2,035	107	0,08
Solo Argiloso-Brita (30/70)	Modificada	Base	9,0	2,175	80	0,10
Solo Arenoso-Brita (50/50)	Modificada	Base	5,7	2,360	290	0

Tabela 5: Modelos para a variação do módulo de resiliência com o estado de tensão para os materiais geotécnicos utilizados na pesquisa

Material	Energia de compactação	M_R (MPa)	M_R (kgf/cm ²)	R^2
Solo Argiloso	Normal	$M_R = 106 \cdot \sigma_3^{0,07} \cdot \sigma_d^{-0,44}$	$M_R = 2412 \cdot \sigma_3^{0,07} \cdot \sigma_d^{-0,44}$	0,95
Solo Arenoso	Normal	$M_R = 895 \cdot \sigma_3^{0,40} \cdot \sigma_d^{-0,09}$	$M_R = 4307 \cdot \sigma_3^{0,40} \cdot \sigma_d^{-0,09}$	0,86
	Intermediária	$M_R = 763 \cdot \sigma_3^{0,35} \cdot \sigma_d^{-0,13}$	$M_R = 4459 \cdot \sigma_3^{0,35} \cdot \sigma_d^{-0,13}$	0,81
Solo Areno-argiloso	Modificada	$M_R = 548 \cdot \sigma_3^{0,14} \cdot \sigma_d^{-0,24}$	$M_R = 6812 \cdot \sigma_3^{0,14} \cdot \sigma_d^{-0,24}$	0,94
Mistura Solo argiloso-Brita (30/70)	Modificada	$M_R = 603 \cdot \sigma_3^{0,25} \cdot \sigma_d^{-0,32}$	$M_R = 7014 \cdot \sigma_3^{0,25} \cdot \sigma_d^{-0,32}$	0,73
Mistura Solo arenoso-Brita (50/50)	Modificada	$M_R = 1884 \cdot \sigma_3^{0,43} \cdot \sigma_d^{-0,06}$	$M_R = 7568 \cdot \sigma_3^{0,43} \cdot \sigma_d^{-0,06}$	0,78

Analisando-se as equações apresentadas na Tabela 5 e comparando os valores absolutos dos expoentes das tensões desvio e confinante, pode-se observar que os módulos de resiliência dos solos argiloso e areno-argiloso são mais influenciados pela tensão desvio, enquanto que para o solo arenoso e a mistura solo arenoso-brita (50/50), a maior influência é da tensão confinante. Para a mistura solo argiloso-brita (30/70), as influências da tensão desvio e da tensão confinante são da mesma ordem de grandeza. Outros tipos de modelos para a representação da variação do módulo de resiliência com o estado de tensão dos materiais em questão podem ser encontrados em Bezerra Neto *et al.*, (2003).

Comparando-se, a partir da Tabela 5, os módulos de resiliência do subleito argiloso e do subleito arenoso, observa-se, para os níveis de tensão comumente atuantes nos mesmos, que os valores correspondentes ao primeiro são da ordem do dobro dos valores correspondentes ao segundo. Tal fato comprova pesquisas anteriores que verificaram que materiais granulares com CBR elevados, neste caso 62%, podem apresentar valores de M_R inferiores aos de materiais argilosos com CBR mais modestos, neste caso 20%.

A Tabela 6 e a Figura 3 apresentam, respectivamente, o módulo de resiliência, a resistência à tração indireta e a relação entre estes dois parâmetros, e a curva de fadiga da mistura asfáltica utilizada na pesquisa

Tabela 6: Propriedades mecânicas da mistura asfáltica utilizada na pesquisa

Material	Módulo de Resiliência (M_R)		Resistência à tração (R_t)		M_R/R_t
	MPa	kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	
CBUQ	4100	41000	0,95	9,5	4315

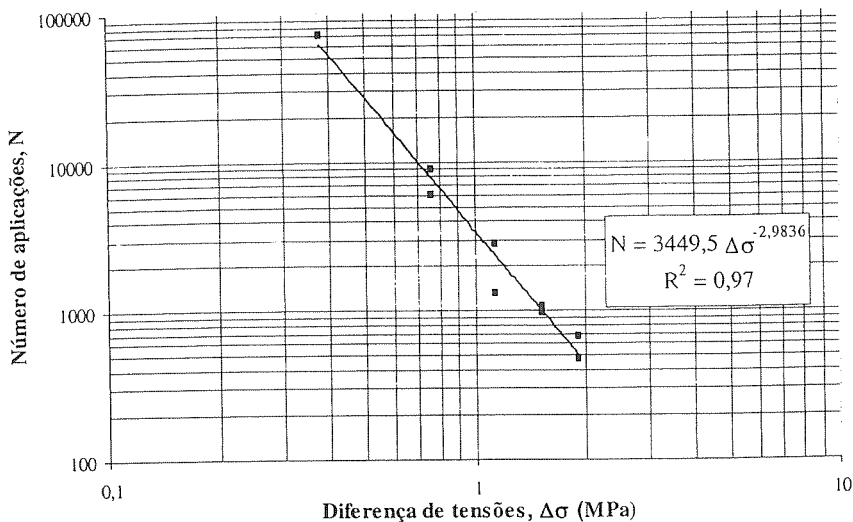


Figura 3: Curva de fadiga da mistura asfáltica utilizada na pesquisa

Analisando-se os resultados dos ensaios de compressão diametral cíclicos apresentados na Tabela 6 e na Figura 3, pode-se observar que os valores obtidos estão condizentes com os encontrados por outros autores que também avaliaram, em laboratório, o comportamento mecânico de misturas asfálticas com características semelhantes às da mistura utilizada nesta pesquisa (Preussler, 1983; Pinto, 1991; Benevides, 2000; Taira, 2001).

5. DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS

As estruturas de pavimentos foram dimensionadas pelos métodos do DNER e mecânico utilizando os resultados apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6, e na Figura 3.

Neste estudo, foram considerados dois tipos de subleito, um constituído pelo solo argiloso e o outro, pelo solo arenoso; quatro tipos de base, sendo duas do tipo 'Solo Arenoso Fino Laterítico - SAFL', constituídas, respectivamente, pelos solos arenoso e areno-argiloso, e duas misturas do tipo 'Solo-Brita', constituídas pelos mesmos solos de subleito e a brita da região.



Para cada tipo de subleito foram considerados dois tipos de base, de acordo com a prática construtiva verificada na região de Campo Grande-MS. Assim, para o subleito argiloso, foram analisadas a base de SAFL constituída com o solo areno-argiloso (A-4 e LG') e a base de solo-brita (30/70) constituída com o próprio solo do subleito (A-7-5 e LG'). Para o subleito arenoso, foram analisadas as bases de SAFL e de solo-brita (50/50), ambas constituídas com o próprio solo do subleito (A-2-4 e LA).

Quanto ao tráfego, foram considerados quatro níveis de solicitações, denominados, respectivamente, de leve ($N=10^5$), médio ($N=10^6$), pesado ($N=10^7$) e muito pesado ($N=10^8$).

As estruturas dimensionadas para os tráfegos leve e médio possuem revestimento do tipo 'Tratamento Superficial', enquanto que as dimensionadas para os tráfegos pesado e muito pesado possuem revestimento de concreto asfáltico (CBUQ). Vale ressaltar que neste estudo considerou-se o valor de 2000 kgf/cm^2 para o módulo de resiliência do Tratamento Superficial.

Para avaliar o trincamento por fadiga no revestimento, adotou-se a equação da curva de fadiga apresentada na Figura 3. Cabe ressaltar que tal equação não leva em conta o fator campo-laboratório. Neste trabalho, admitiu-se o valor de 10^4 para o referido fator, conforme sugerido por Pinto (1991).

A análise de deformação permanente foi realizada limitando-se a tensão no topo do subleito, conforme a equação proposta por Heukelon & Klomp (1962), *apud* Benevides (2000), descrita a seguir.

$$\sigma_{\text{vadm}} = \frac{0,006 \cdot M_R}{1 + 0,7 \cdot \log N} \quad (1)$$

onde:

σ_{vadm} = Tensão vertical admissível no topo do subleito (kgf/cm^2);
 M_R = Valor médio do módulo de resiliência do subleito (kgf/cm^2);
 N = número de operações do eixo padrão.

Para o cálculo da tensão admissível no topo do subleito, admitiu-se o valor de 1500 kgf/cm^2 para o M_R do subleito argiloso e o valor de 1000 kgf/cm^2 para o M_R do subleito arenoso. Tais valores estão de acordo com os obtidos por alguns pesquisadores através de retro-análises de bacias de deflexão (Villibor et al, 1995; Bernucci, 1995 e Alvarez Neto, 1998).

As Figuras 4 e 5, e 6 e 7 apresentam as estruturas de pavimentos estabelecidas através dos métodos de dimensionamento analisados, respectivamente, para os subleitos argiloso e arenoso, considerando-se dois tipos de base para cada um deles.

Observou-se, neste estudo, que o critério de fadiga no revestimento comandou o dimensionamento mecânico das estruturas com subleito arenoso e submetidas aos tráfegos pesado ($N=10^7$) e muito pesado ($N=10^8$). Tal fato também se repetiu para as estruturas com subleito argiloso e submetidas ao tráfego muito pesado. Para as demais estruturas, o critério da deformação permanente foi o que comandou o dimensionamento mecânico das mesmas.

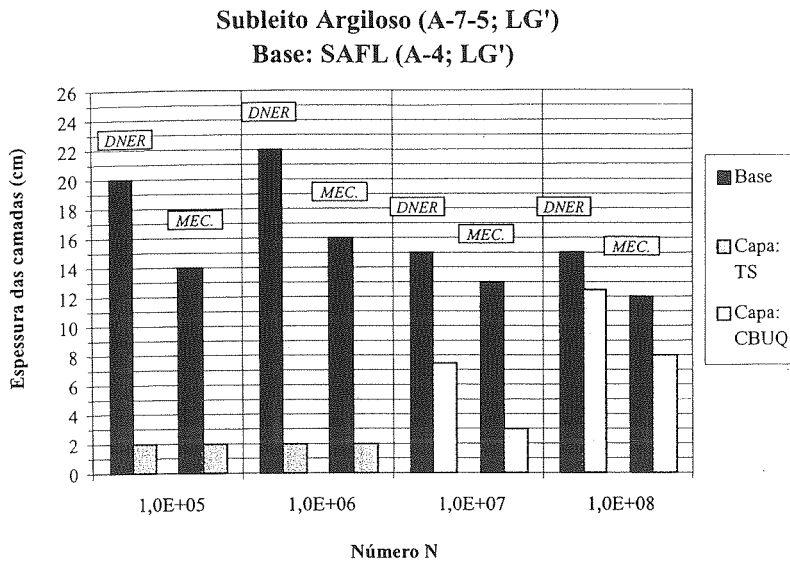


Figura 4: Estruturas estabelecidas através dos métodos empírico (DNER) e mecanístico - Subleito Argiloso / Base de Solo Arenoso Fino Laterítico (A-4; LG').

Subleito Argiloso (A-7-5; LG')

Base: Solo Argiloso-Brita (30/70)

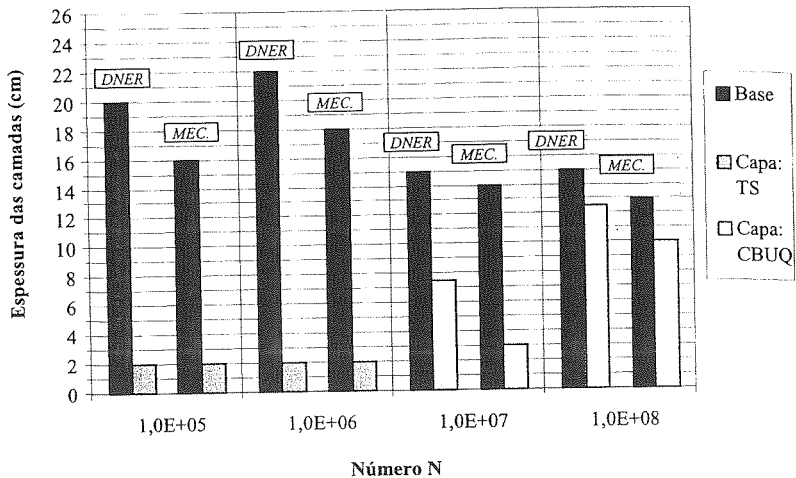


Figura 5: Estruturas estabelecidas através dos métodos empírico (DNER) e mecanístico - Subleito Argiloso / Base de Solo Argiloso-Brita (30/70).

Subleito Arenoso (A-2-4; LA)

Base: SAFL (A-2-4; LA)

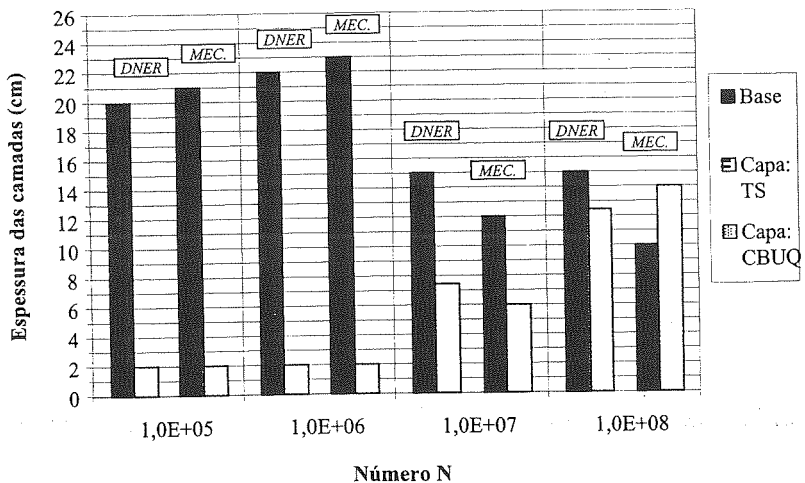


Figura 6: Estruturas estabelecidas através dos métodos empírico (DNER) e mecanístico -

Subleito Arenoso / Base de Solo Arenoso Fino Laterítico (A-2-4; LA).

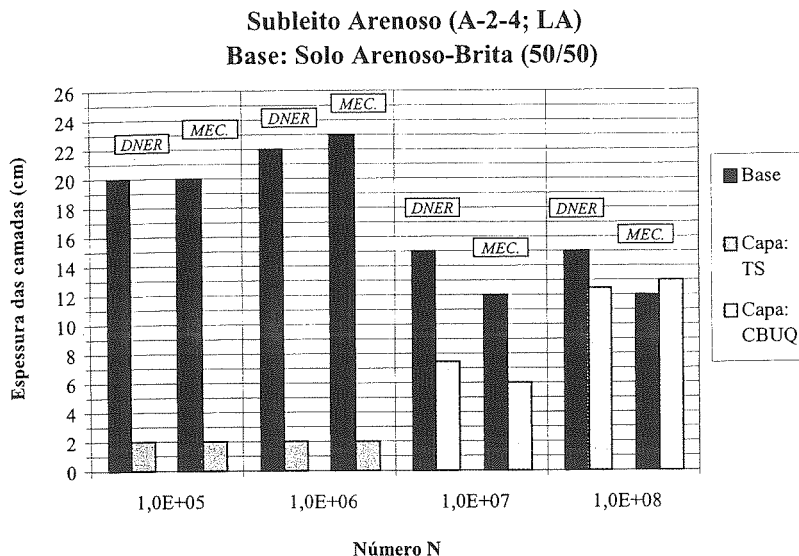


Figura 7: Estruturas estabelecidas através dos métodos empírico (DNER) e mecanístico - Subleito Arenoso / Base de Solo Arenoso-Brita (50/50).

6. ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

A partir da análise das Figuras 4 e 5, referentes ao subleito argiloso com bases de SAFL (A-4; LG') e Solo-Brita (30/70), respectivamente, pode-se observar que as estruturas determinadas pelo método do DNER estariam, em todos os casos, superdimensionadas em relação às determinadas pelo método mecanístico. Constata-se também que, para as estruturas submetidas aos tráfegos leve ($N=10^5$) e médio ($N=10^6$), existe uma diferença de aproximadamente 25% entre as espessuras das camadas de base determinadas através dos dois métodos em questão. No caso das estruturas submetidas ao tráfego pesado ($N=10^7$), a diferença entre as espessuras das camadas de revestimento obtidas através dos dois métodos é de aproximadamente 50%. Para o tráfego muito pesado ($N=10^8$), percebeu-se uma diferença de 25% entre as espessuras das camadas de revestimento determinadas através dos dois métodos em análise.

Analisando-se as Figuras 6 e 7, referentes ao subleito arenoso com bases de SAFL (A-2-4; LA) e Solo-Brita (50/50), respectivamente, observa-se que, para as estruturas submetidas aos tráfegos leve ($N=10^5$) e médio ($N=10^6$), não há diferença significativa entre os resultados obtidos através dos dois métodos de dimensionamento. Para as estruturas submetidas aos tráfegos pesado ($N=10^7$) e muito pesado ($N=10^8$), verifica-se que as diferenças entre os



resultados dos dois métodos são pequenas, de aproximadamente 15% no tocante à espessura do revestimento.

Vale salientar que, caso o critério de confiabilidade fosse incorporado ao método mecanístico, os resultados poderiam diferir daqueles apresentados anteriormente. Tudo dependeria das considerações feitas sobre a variabilidade dos parâmetros de projeto e do nível de confiabilidade adotado.

Com o propósito de ilustrar a influência de se considerar a confiabilidade, verificou-se através de simulação com o programa FEPAVE que a estrutura apresentada na Figura 5, dimensionada pelo método do DNER para tráfego pesado ($N=10^7$), seria aprovada com uma confiabilidade de 99,8% pelo método mecanístico, desde que, na análise, fosse admitida uma variação de 10% nas espessuras das camadas de base e revestimento. Considerando-se que para este tipo de tráfego, um nível de confiabilidade de 80% poderia ser admitido, conclui-se, portanto, que o método do DNER realmente superdimensiona as estruturas de pavimentos em algumas situações.

Comparando-se as estruturas apresentadas nas Figuras 6 e 7, compostas, respectivamente com bases de solo arenoso fino (A-2-4; LA) e solo arenoso-brita (50/50), dimensionadas pelo método mecanístico, pode-se observar uma grande similaridade entre as mesmas. Assim, poder-se-ia concluir que a base de SAFL e a base de solo arenoso-brita apresentariam, praticamente, o mesmo desempenho. Entretanto, tem-se verificado através de experiências de campo, que este último material apresenta um desempenho bem mais satisfatório que o primeiro.

Neste caso, a explicação para a similaridade das estruturas das Figuras 6 e 7 é que ambas as bases utilizadas têm comportamentos resilientes comparáveis e o subleito é o mesmo, resultando assim, estruturas muito semelhantes. Caso fosse realizada uma análise mais apurada, com a utilização de modelos de deformações permanentes determinados em laboratório, supõe-se, no caso de tráfegos leve e médio, que as estruturas compostas com a base de solo arenoso-brita, menos deformável que o SAFL, conduziram a estruturas mais delgadas que as obtidas usando este último material. No caso de tráfegos pesado e muito pesado, as estruturas continuariam equivalentes, visto que o critério de fadiga seria o mais crítico no dimensionamento mecanístico. Daí a grande importância de se realizar ensaios de deformação permanente quando se deseja utilizar o método mecanístico para projetar pavimentos.

Finalmente, vale ressaltar que as estruturas de pavimentos estabelecidas para o tráfego muito pesado ($N = 10^8$) apresentaram, de modo geral, espessuras elevadas de revestimento. Neste caso, seria interessante analisar também a utilização de um material mais rígido na constituição da camada de base, e assim, obter-se uma redução da espessura da capa.

7. CONCLUSÕES

Observou-se neste estudo que um material arenoso com índice de suporte CBR elevado pode apresentar valores de módulo de resiliência inferiores aos apresentados por um material argiloso com menor índice CBR.

Na análise comparativa dos métodos de dimensionamento, constatou-se que, para o subleito argiloso, as estruturas determinadas pelo método do DNER apresentaram-se superdimensionadas em relação às determinadas pelo método mecanístico, independente do nível de tráfego.

No caso do subleito arenoso, considerando-se apenas os tráfegos leve ($N = 10^5$) e médio ($N = 10^6$), as estruturas obtidas através dos dois métodos foram praticamente idênticas. Para o tráfego pesado ($N = 10^7$), o método do DNER conduziu a capas mais espessas, da ordem de 15%, que o método mecanístico. No caso de tráfego muito pesado ($N = 10^8$), verificou-se uma inversão, com o método mecanístico conduzindo a capas mais espessas, da ordem de 12%, que o método do DNER.

A obtenção do comportamento à deformação permanente dos materiais através de ensaios de laboratório é de extrema importância quando se deseja empregar o método mecanístico no dimensionamento de um pavimento.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez Neto, L. (1998). Proposta de um método de dimensionamento de pavimentos flexíveis para vias de baixo volume de tráfego com a utilização de solos lateríticos. São Paulo. Tese. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 288p.
- Benevides, S. A. S. (2000). Análise comparativa dos métodos de dimensionamento de pavimentos asfálticos – empírico do DNER e resiliência da COPPE/UFRJ – em rodovias do Ceará. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Bernucci, L.B. (1995). Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego. São Paulo. Tese. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 237p.
- Bezerra Neto, R. S.; Santos, A. G.; Parreira, A. B.; Motta, L. M. G. (2003). Propriedades resilientes de alguns materiais de pavimentação empregados na região de Campo Grande-MS. In: *34ª Reunião Anual de Pavimentação*, ABPv, Campinas, CD-Rom.
- DER-SP (1971) *DER/SP M13-71 - Ensaio de Compactação dos solos*. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, SP.
- DER-SP (1974) *DER/SP M53-71 - Ensaio de Suporte Califórnia de Amostras Compactadas em Laboratório. Método de Ensaio*. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, 1974, SP.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1966). *Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis*. Rio de Janeiro. 1966.
- Nogami, J. S. e D. F. Villibor (1995). Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo. Editora Villibor. 213 p.
- Pinto, S. (1991). Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Preussler, E. S. (1983). Estudo da deformação resiliente de pavimentos flexíveis e aplicação ao projeto de camadas de reforço. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Taira, C. (2001). Avaliação do desempenho em laboratório de misturas asfálticas densas utilizando asfalto convencional (CAP 20) e asfalto modificado com polímero SBS (Betuflex B 65/60). Dissertação de Mestrado. EESC-USP. São Carlos. 147p.
- Villibor, D.F.; Nogami, J. S.; Fortes, F. Q.; Tonato, J. E. (1995). Pavimentação urbana de baixo custo com base de argila laterítica. In: *29ª Reunião Anual de Pavimentação*, ABPv. Cuiabá. Anais, vol. 3, p. 363-389.