

EMPREGO DE MISTURAS SOLO-ALCATRÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO EM ESTRADAS FLORESTAIS¹

Dalila C. M. Fernandes², Carlos C. Machado³, Dario C. Lima⁴, Jucksch, I.⁵
Reginaldo S. Pereira⁶

RESUMO: Analisou-se o potencial de uso do alcatrão de madeira de eucalipto como aditivo químico para a estabilização de solos para estradas florestais. O programa de ensaios de laboratório englobou ensaios de caracterização e índice de suporte Califórnia (CBR), realizados em solos no estado natural e em misturas solo-alcatrão. Três amostras de solo representativas da cidade de Viçosa, estado de Minas Gerais, Brasil, e teores de alcatrão de 0,25%; 0,5%; 1%; 2%; 4% e 6% foram empregados no decorrer do estudo. Todas as amostras para os ensaios de resistência mecânica foram compactadas considerando-se a energia do ensaio de compactação American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Normal. Os resultados dos ensaios sugerem que: (i) a adição do alcatrão contribuiu para aumentar a resistência mecânica dos solos no estado natural; (ii) o tempo de cura influenciou significativamente a resposta mecânica das misturas; (iii) embora tenha sido observado aumento na resistência mecânica das misturas com a adição de alcatrão, nenhuma das misturas atingiu as exigências mínimas do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) para a camada de sub-base de pavimentos rodoviários flexíveis.

Palavras-chave: Estradas florestais, mistura solo-alcatrão, madeira de eucalipto, CBR.

USE OF THE SOIL-TAR MIXTURES IN FOREST ROADS

ABSTRACT: *The purpose of this study was to analyze the engineering behavior of the soil-tar mixtures considering their application in forest road. The laboratory-testing program encompassed characterization and California bearing ratio (CBR) tests performed on soils and soil-tar mixtures. Three representative soil samples from the Viçosa, Minas Gerais State, Brazil, and tar contents of 0,25; 0,5; 1; 2; 4 and 6% in terms of dry soil mass were considered throughout the study. All the samples were compacted at the Standard AASHTO compaction effort. Data support that: (i) addition of tar contributed to improve the mechanical engineering response of the tested soils, for some treatments, in comparison with the plain soils; (ii) curing time influences the mechanical response of the soil-tar mixtures; (iii) although it was observed mechanical improvement of the soil-tar mixtures*

1. Trabalho financiado CNPq/FAPEMIG.

2. Doutora, Bolsista do CNPq, Curso de Pós-Graduação em Eng. Florestal, UFV, MG.

3. Bolsista de PQ do CNPq, Dep. Eng. Florestal, UFV, 36570-000, Viçosa-MG, machadoc@ufv.br

4. Dep. Eng. Civil, UFV, 36570-000, Viçosa-MG, declima@ufv.br

5. Dep. solos, UFV, 36570-000, Viçosa, MG.

6. Bolsista MS da CAPES, UFV, Viçosa, MG.

comparing to the plain soils, it was not reached the Brazilian National Road Engineering Office (DNER) minimal stability requirements for sub-base layers of flexible pavements.

Key words: Forest road, soil-tar mixtures, Eucalyptus wood, CBR.

1. INTRODUÇÃO

O transporte é um fator estratégico para o desenvolvimento econômico e social de qualquer país. O setor rodoviário é o responsável por 70% a 80% das cargas transportadas no Brasil. Existe no Brasil 1,66 milhão de quilômetros de estradas de terra (vicinais). As estradas pavimentadas (federais, estaduais e municipais), com 150 mil quilômetros, representam apenas 9% do total da rede, segundo Bernucci (1997), com base em dados de 1995 da Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT).

Com relação ao setor florestal, na década de 1980, estimava-se a extensão da malha brasileira de rodovias florestais em 600 mil quilômetros (Machado & Malinovski, 1986), tendo este número aumentado com o decorrer de novas ampliações das empresas florestais. Também aumentaram, nos últimos anos, as exigências em termos de solicitações para estas estradas, devido ao volume elevado de tráfego e a cargas normalmente extra-pesada. Associam-se também a esta realidade as distâncias de transporte cada vez mais longas e as vias de transporte muitas vezes de baixa qualidade. A necessidade de que sejam trafegáveis durante todo o ano e de maior vida útil, não condiz com o baixo padrão construtivo frequentemente observado nestas obras, pois, em sua maioria, elas são o que se denomina "estradas de terra" não-revestidas. Portanto, é de grande interesse a melhoria do padrão de qualidade das estradas. Dentro deste contexto, surge o conceito de pavimentação e estabilização de solos com fins rodoviários.

Em se tratando de estradas, estabilizar um solo significa conferir-lhe a capacidade de resistir às ações erosivas naturais e aos esforços e desgastes oriundos do tráfego, sob as condições

mais adversas consideradas no projeto. Dessa forma busca-se garantir que não haja a perda das condições de trafegabilidade durante a vida útil estabelecida. Ressalta-se também que esta técnica é uma grande aliada na minimização dos impactos ambientais causados, por exemplo, pela erosão nas áreas de estradas. Tal prática pode diminuir os custos do binômio estrada-transporte florestal.

Diante do exposto, verifica-se que a aplicação de técnicas de estabilização adquire importância no contexto da problemática da pavimentação rodoviária no Brasil, no que se refere aos aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Outro aspecto que merece destaque é que grandes áreas do território brasileiro são cobertas por solos que, no estado natural, não possuem os requisitos mínimos necessários para serem utilizados na construção de camadas de pavimentos rodoviários flexíveis. Assim, empregar técnicas que modifiquem as propriedades do solo local, de forma a torná-lo apto a ser o empregado como suporte ou camada de pavimento de estradas, é uma opção de importância para a pavimentação rodoviária, do ponto de vista técnico e econômico (Senço, 1997).

Ainda segundo (Senço, 1997), a natureza da energia empregada no processo de estabilização pode-se dar em quatro modalidades: mecânica, química, elétrica e térmica. A tecnologia vigente para a construção de estradas geralmente, emprega as técnicas de estabilização química e mecânica. Os estabilizantes químicos mais comumente utilizados são a cal, o cimento e o betume.

Dentro dessa visão, o presente trabalho busca oferecer, como alternativa tecnológica de baixo custo, o emprego do alcatrão de madeira como agente estabilizante para a construção de estradas florestais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Solos

As amostras de solo utilizadas neste trabalho, em número de três, foram coletadas em taludes de cortes de estradas já existentes. Eliminou-se o material superficial, que poderia estar alterado por contaminação de materiais oriundos dos horizontes superiores ou por matéria orgânica. A Tabela 1 apresenta as descrições das amostras de solo e as profundidades de coleta, no campo.

As três amostras coletadas representam solos residuais característicos da Microrregião de Viçosa, MG, sendo que duas delas referem-se a solos com avançada evolução pedológica. Estes solos pedologicamente evoluídos são classificados como Latossolos variação “Una”, profundos, bem drenados, provenientes do intemperismo de gnaisses. De ocorrência nas encostas mais suavizadas, neles predominam a composição mineralógica presente nos argilo-minerais 1:1, bem como sesquióxidos de ferro e alumínio. O terceiro solo é de textura arenosa, de origem saprolítica, essencialmente quartzoso, ocorrendo no horizonte C profundo e apresentando coloração acinzentada.

Tabela 1. Descrição das amostras de solos

Table 1. Soil sample description

Amostras de solos	Formação pedológica	Horizonte	Profundidade do solo (m)
ETA	Latossolo	B	6,20
NV	Latossolo	B	4,30
VS	Saprolítico	C	15,70

ETA - localizado próximo à usina de asfalto da Prefeitura Municipal de Viçosa, MG.

NV - localizado no Bairro de Nova Viçosa – Viçosa, MG.

VS - localizado na Vila Secundino da UFV – Viçosa, MG.

2.2. Estabilizante

Empregou-se, neste estudo, uma amostra de alcatrão insolúvel, sem fracionamento, obtida da carbonização da madeira de *Eucalyptus cloeziana*, à temperatura de 450° a 500°C e fornecida pela empresa V&M Florestal, situada no estado de Minas Gerais. A idade do povoamento era de 93 meses e o tempo de secagem de 125 dias, antes da carbonização.

2.3. Ensaios de laboratório

As amostras de solo foram caracterizadas geotecnicamente, segundo as recomendações da ABNT. A preparação das amostras deformadas utilizadas nos ensaios geotécnicos obedeceu às recomendações da NBR 6457, ABNT (1986). Realizaram-se os seguintes ensaios geotécnicos: análise granulométrica conjunta (NBR 7181), ABNT (1984a), limites de liquidez (NBR 6459), ABNT (1984b), e de plasticidade (NBR 7180), ABNT (1984c), massa específica dos grãos (NBR 6508), ABNT (1984d), ensaio de compactação (NBR 7182), ABNT (1986) e ensaio CBR (NBR 9895), ABNT (1987), este último na energia do ensaio AASHTO Normal, trabalhando-se com corpos de prova compactados no teor ótimo de umidade e peso específico seco máximo determinados nos ensaios de compactação.

2.4. Classificação dos solos para fins rodoviários

Os solos foram classificados de acordo com o sistema de classificação internacional do "Highway Research Board" (HRB). Essa classificação considera os resultados dos ensaios de análise granulométrica, limite de liquidez e limite de plasticidade dos solos como propriedades índices.

2.5. Avaliação do efeito do alcatrão no parâmetro CBR

Analisou-se o efeito da adição de diferentes doses de alcatrão e período de cura no parâmetro CBR, com vistas à aplicação das misturas solo-alcatrão em camadas de pavimentos rodoviários flexíveis, segundo as exigências do DNER.

Com as três amostras de solo estudadas, foram produzidas em laboratório, as seguintes misturas a serem ensaiadas: solo mais 0,25%, 0,50%, 1%, 2%, 4% e 6% de alcatrão por massa de solo seco.

Como o estudo de dosagens para fins de estabilização de solos pressupõe a compactação das misturas com determinados teores de umidade, a alternativa para o uso do alcatrão foi a utilização deste como um produto a ser utilizado "*in natura*", sendo adicionado ao solo na forma líquida.

O alcatrão foi adicionado ao solo em quantidades baseadas no peso seco de solo, considerando-o como 100%. Primeiramente, era feita a adição do alcatrão ao solo e, posteriormente, a adição de água na quantidade igual à necessária para levar a amostra a um certo teor de umidade previamente conhecido. A seguir, peneirava-se a mistura na peneira de abertura nominal 4,8 mm, até se atingir o grau de homogeneização desejado.

A mistura assim produzida foi acondicionada em um saco plástico devidamente fechado e deixada em repouso por, no mínimo, uma hora.

Decorrido este tempo, foram confeccionados os corpos-de-prova para os ensaios CBR. A adoção deste período de repouso, anterior à compactação e confecção de três corpos-de-prova das misturas, baseou-se no fato de que poderiam ocorrer reações químicas iniciais de interesse para a estabilização entre os componentes químicos e os solos.

Os corpos de prova foram acondicionados em sacos de plástico vedados e conservados em câmara úmida, por períodos de cura de 1 e 28 dias. Os objetivos foram: conservar o teor de umidade de moldagem e analisar o aspecto da reatividade do alcatrão com os solos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização dos solos estudados, englobando os limites de Atterberg, índice de Plasticidade (IP), peso específico dos sólidos e granulometria conjunta dos solos.

Os valores de limite de liquidez (LL) dos solos variam na faixa de 75% (solo ETA) e 27% (solo VS), sendo que os índices de plasticidade vão de 29% (solo ETA) a 10% (solo VS). Todos os solos apresentam também 100% de material passando na peneira de abertura nominal de 2mm.

A Tabela 3 traz a classificação dos solos segundo o HRB, observando-se que os solos em estudo se classificam como materiais susceptíveis de serem empregados em subleitos de estradas. Esse sistema prevê: (i) para as amostras ETA e NV, por se enquadrarem no grupo A-7-5 (solos argilosos), com índices de grupo de 16 e 10, respectivamente, um comportamento como material de subleito de fraco a pobre; (ii) para a amostra VS, por se enquadrar no grupo A-2-4 e possuir índice de grupo 0 (solos granulares), um comportamento como material de subleito de excelente a bom.

Tabela 2. Ensaios de caracterização geotécnica das amostras de solo
Table 2. *Trials of geotechnical carachterization of soil samples*

Amostras de solos	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	% com diâmetro < 0,074 mm	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Peso específico dos sólidos (kN/m ³)
ETA	60	12	28	78,30	75	45	29	27,63
NV	68	4	28	78,80	67	48	23	27,62
VS	15	11	74	28,89	27	17	10	27,01

LL= limite de liquidez; LP= limite de plasticidade; IP= índice de plasticidade.

Tabela 3. Classificação das amostras de solos
Table 3. *Soil sample classification*

Amostras de solos	Classificação HRB
ETA	A - 7 - 5 (16)
NV	A - 7 - 5 (10)
VS	A - 2 - 4 (0)

Na Tabela 4 encontram-se os parâmetros de compactação (W_{ot} , Y_{ds}), valor CBR e $Expansão_{CBR}$, obtidos com os corpos-de-prova dos solos em estado natural, moldados na energia de compactação do ensaio AASHTO Normal.

Dos ensaios realizados, nota-se que os teores ótimos de umidade (W_{ot}) e massa específica seca máxima (Y_{ds}) variam, respectivamente, na faixa de 31,8% (solo ETA) a 14% (solo VS) e de 13,8 KN/m³ (solo ETA) a 18,1 KN/m³ (solo VS). Os três solos, no estado natural, apresentam CBR de 10% (solo NV) a 14% (solo VS) e expansão de 0,17% (solos NV, ETA) a 0,5% (solo VS).

Com relação às exigências do DNER para materiais de reforço, sub-base e base de pavimentos flexíveis (Senço, 1997), pode-se observar, na Tabela 3, que os solos estudados, em seus estados naturais, podem ser utilizados apenas como materiais de reforço do subleito de pavimentos rodoviários. Neste caso, desde que os valores de CBR dos solos sejam superiores àqueles dos subleitos a serem protegidos.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios CBR referentes a solo "in natura" e misturas solo-alcatrão. Observa-se que os solos NV e VS foram reativos às dosagens de alcatrão utilizadas, nos períodos de cura de 1 e 28 dias, resultando, em alguns tratamentos, em valores superiores aos dos solos naturais.

A partir dos dados do Tabela 5, observa-se que os melhores resultados foram obtidos, como se segue: (i) para 1 dia de cura - solos ETA e NV e 0,5 % de alcatrão, solo VS 1% de alcatrão; (ii) para 28 dias de cura - solo NV e 0,25% de alcatrão, solo VS e 0,5% de alcatrão, com relação ao solo ETA; o resultado abaixo do obtido

Tabela 4. Ensaios de compactação, CBR e $expansão_{CBR}$ das amostras dos solos naturais
Table 4. *CBR and compactation trial of the natural soil samples.*

Amostras de solos	Y_{ds} (kN/m ³)	W_{od} (%)	CBR (%)	$Expansão_{CBR}$ (%)
ETA	13,80	31,8	12	0,17
NV	14,18	30,4	10	0,17
VS	18,10	14,0	14	0,50

Tabela 5. Resultados dos ensaios de CBR e expansão de solos naturais e das misturas solo-alcatrão
Table 5. Results of CBR data and expansion from natural soil and soil-wood tar mixtures

Amostras de solos	Alcatrão(%)	CBR(%)		Expansão(%)	
		Tempo de cura			
		1 dia	28 dias	1 dia	28 dias
			%		
ETA	Natural	12,74	-	0,177	-
	0,25	14,33	10,44	0,068	0,129
	0,50	14,69	7,43	0,044	0,127
	1,00	10,49	9,56	0,069	0,148
	2,00	10,62	7,11	0,070	0,128
	4,00	5,37	8,16	0,041	0,131
	6,00	5,17	4,90	0,061	0,128
NV	Natural	10,09	-	0,176	-
	0,25	11,50	11,58	0,072	0,104
	0,50	14,69	7,22	0,047	0,042
	1,00	10,62	10,61	0,073	0,151
	2,00	4,42	5,31	0,070	0,081
	4,00	7,43	10,61	0,041	0,109
	6,00	4,25	4,77	0,059	0,059
VS	Natural	13,66	-	0,507	-
	0,25	13,90	13,87	0,146	0,211
	0,50	14,39	15,5	0,23	0,24
	1,00	14,88	13,40	0,22	0,255
	2,00	14,15	15,49	0,29	0,171
	4,00	10,96	11,42	0,34	0,109
	6,00	5,82	5,85	0,23	0,069

para o solo natural, pode ser associado ao fato de que as reações químicas entre esse solo e o alcatrão, aparentemente não se completaram no período de 28 dias; (iii) no que se refere à expansão medida no ensaio CBR, para todos os solos e tratamentos, observou-se uma redução significativa deste parâmetro, enquadrando-o nos limites aceitáveis para camadas de pavimentos rodoviários.

Os resultados sugerem que os solos mostram-se reativos ao alcatrão utilizado, bem como apontam para a influência significativa do tempo de cura na dosagem ótima de alcatrão, para fins de estabilização de solos do ponto de vista

da resistência mecânica e da expansão. Com relação a essa influência, observa-se que, para os solos ETA e NV, o período de cura de 1 dia levou a maiores valores CBR das misturas, enquanto que, para o solo VS, melhores resultados foram obtidos para o período de cura de 28 dias.

De acordo com os limites estabelecidos pelo DNER, as exigências mínimas para os materiais granulares a serem empregados em camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis, são valores de CBR iguais ou superiores a 80% e 20% respectivamente. Portanto, pode-se afirmar que os valores CBR das misturas estudadas, con-

siderando-se todos os solos, não as recomendam tecnicamente para nenhuma dessas funções

4. CONCLUSÕES

O alcatrão de madeira, sem fracionamento, mostra-se reativo aos solos em estudo, promovendo ganhos na capacidade de suporte dos solos no estado natural.

A resposta mecânica das misturas é condicionada pelo tempo de cura das mesmas, tendo-se observado melhores resultados para o tempo de cura de 1 dia para os solos argilosos, ETA e NV, e de 28 dias para o solo saprolítico- (arenoso) VS.

Apesar dos ganhos nos valores CBR das misturas, para certos teores de alcatrão e tempos de cura, os valores CBR das misturas não as recomendam para o emprego como camada de sub-base de pavimentos rodoviários.

As misturas solo-alcatrão merecem ser melhor estudadas, considerando-se a possibilidade de melhoria do alcatrão como agente estabilizante via tratamento térmico.

Recomenda-se realizar o ensaio triaxial dinâmico (cargas repetidas) para as misturas contendo alcatrão, determinando o módulo resiliente e a vida útil de fadiga desse material.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6457/86:** amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7181/84 Solo:** análise granulométrica conjunta. Rio de Janeiro, 1984a. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6459/84 Solo:** determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984b. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7180/84 Solo:** determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984c. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6508/84 Solo:** determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1984d. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7182/86 Solo:** ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9895/87:** ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1987.

BERNUCCI, L. B. O módulo resiliente de solos lateríticos e sua aplicação ao dimensionamento de pavimentos de vias de baixo volume de tráfego. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO, 1., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1997. p. 491-508.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Rede viária florestal.** Curitiba: FUPEF, 1986. 157 p.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação.** São Paulo: Pini, 1997. 174 p.

