



## Estabilização mecânica de solos como alternativa na construção de estradas florestais de baixo custo

Reginaldo Sérgio PEREIRA<sup>1\*</sup>, Fabiano EMMERT<sup>2</sup>, Eder Pereira MIGUEL<sup>1</sup>,  
Fabrícia Conceição Menez MOTA<sup>1</sup>, Alba Valéria REZENDE<sup>1</sup>, Fabrício Assis LEAL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

<sup>2</sup> Laboratório de Manejo Florestal, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil.

\* E-mail: reginaldosergiopereira@gmail.com

Recebido em setembro/2016; Aceito em março/2017.

**RESUMO:** Avaliou-se, em laboratório, a potencialidade técnica do emprego da estabilização mecânica de solos por compactação e correção granulométrica, em amostras de solo fino, cascalho e mistura solo fino-cascalho, para a construção de estradas florestais. Os solos foram coletados no Município de Niquelândia-Go em área de reflorestamento com eucalipto e encaminhados ao laboratório de geotecnia da UnB. Foram realizados ensaios físicos de caracterização e classificação dos solos e ensaios mecânicos de compactação e índice de suporte Califórnia (CBR). O cascalho local apresentou os maiores valores de CBR, podendo ser usado em camadas de sub-base e base de pavimentos. O solo fino teve os menores valores de CBR, podendo ser empregado apenas para reforço do subleito de estradas. A mistura de cascalho ao solo fino, seguida por processo dinâmico de compactação, proporcionou incrementos superiores a 100% nos valores de CBR do solo fino, podendo essa mistura ser usada em sub-base de pavimentos rodoviários flexíveis. A estabilização mecânica de solos em laboratório mostrou-se promissora para aplicação em construção de estradas florestais. Recomendou-se a construção de trechos experimentais em campo, envolvendo a aplicação de cascalho e solo local e compactação in situ, submetendo-os ao tráfego de veículos para averiguação do real desempenho dessa mistura.

**Palavras-chave:** estradas não pavimentada, compactação, correção granulométrica, solo fino, cascalho.

Mechanical stabilization of soils as alternative for construction of low cost forest road

**ABSTRACT:** The technical potential of mechanical stabilization to improve soils for the construction of forest roads was evaluated in laboratory, where compaction and particle-size correction tests were applied for fine soil, course soil and mixture soil fine-gravel samples. Soil samples were collected in the municipality of Niquelândia-Go in an eucalyptus plantation and were sent to the laboratory geotechnical of UnB. Physical tests of characterization and classification of soils were performed, as well as mechanical tests of compaction to obtain the California Bearing Ratio (CBR). Local gravel showed the highest CBR values and might be used as pavement of sub-base and base. Fine soil showed the lowest CBR values and can be used only for reinforced the road subgrade. The fine soil-gravel mixture, followed by dynamic compaction process, provided increments exceeding 100% of CBR values comparing to fine soil, which was indicated to be used as flexible sub-base pavement of highways. The mechanical stabilization of soils has shown to be promising in the laboratory for use in construction of forest roads. It was recommended to perform experimental road sections on field involving the addition of gravel on local soil and compaction in situ and to submit it to heavy traffic for real performance investigating of this fine-gravel soil mixture.

**Keywords:** unpaved roads, compaction, particle-size correction, fine soil, gravel.

### 1. INTRODUÇÃO

O correto planejamento na construção de estradas florestais é crucial para o sucesso do setor empresarial vinculado ao mercado de plantios florestais de grande escala. Dentre as inúmeras funcionalidades atribuídas a essas vias de acesso, a manutenção do fluxo constante de transporte de madeira, realizado por composições veiculares de carga máxima legal de 74 t, é a mais importante. Nesse contexto, alguns fatores

devem ser considerados, tais como, a extensão, a condição da malha rodoviária florestal, os aspectos técnicos (CÔRREA et al., 2006), os custos de construção e a densidade ótima de estradas (ZAGONEL et al., 2008).

As rodovias públicas nacionais são constituídas por camadas contendo diferentes materiais e finalidades. Esta sucessão de camadas, geralmente, não é encontrada em estradas florestais, que possuem estrutura diferenciada na sua seção transversal, com duas camadas quase indistintas, que são o próprio subleito

ou solo natural e uma camada melhorada. Essa estrutura deve sustentar as solicitações induzidas pelo transporte de madeira e resistir às adversidades climáticas (SESSIONS, 2007).

O subleito foi definido por Lekna et al. (2015) como sendo uma estrutura formada por solo natural, sobre o qual são colocadas as demais camadas granulares do pavimento. Em estradas florestais sem revestimento do subleito e de sistema de drenagem, ocorre o desenvolvimento de processos erosivos nessas vias, principalmente em condições de relevo acidentado, paralisando o fluxo de transporte (CÔRREA; DEDECEK, 2009). Assim, a qualidade e a estabilidade dessa estrutura são os principais fatores responsáveis pelo desempenho adequado e serviço de qualquer estrada durante a sua vida útil.

Em várias situações, a problemática da construção de estradas está no solo local, que não apresenta as condições mínimas exigidas pela obra rodoviária, por ser pouco resistente e compressível do ponto de vista geotécnico (TRINDADE et al., 2008). O solo é o material primário para a construção de estradas não pavimentadas, servindo como pista de rolamento, suporte às cargas e drenagem do escoamento superficial (OLIVEIRA et al., 2009).

No Brasil há predominância de solos lateríticos que incluem dentre outros grupos, os latossolos. Devido à sua grande disponibilidade e ao baixo custo de obtenção, são os solos mais utilizados para a construção de estradas. Millogo et al. (2012) mencionaram que estradas construídas com esses materiais estão sujeitas a deterioração, devido às suas pobres propriedades geotécnicas e mecânicas e à intensificação do tráfego.

Para que as estradas florestais possam suportar as altas cargas induzidas pelo tráfego, principalmente em períodos de chuva, é fundamental a melhoria dos solos de subleito. Portelinha et al. (2012) destacou o uso das técnicas de estabilização como uma alternativa econômica para a melhoria do comportamento mecânico de solos locais para camadas de pavimentos flexíveis. Dentre os métodos de modificação das propriedades dos solos encontra-se a estabilização mecânica, realizada por meio de compactação e mistura de solos de texturas diferentes (ONYELOWE et al., 2012).

A compactação é a ação mecânica imposta ao solo quando submetido a um esforço de compressão, provocando redução do seu índice de vazios com a expulsão de ar. A compactação visa melhorias nas propriedades geotécnicas do solo para fins de engenharia (TRINDADE et al., 2008). Esse processo aumenta a resistência mecânica e a coesão das partículas (HOSSAIN et al., 2007). Segundo Rücknagel et al. (2013), é importante conhecer a capacidade de carga mecânica máxima que um solo pode suportar mantendo as suas funções adequadamente preservadas. Quando o solo não apresenta capacidade satisfatória, uma das alternativas é melhorar a granulometria com a adição de outros solos ou materiais.

A estabilização mecânica por correção granulométrica consiste na mistura de dois ou mais solos com diferentes tamanhos de partículas, visando produzir um novo material com propriedades de engenharia desejado (LIM et al., 2014). No contexto rodoviário, a estabilização por correção granulométrica tem sido empregada na construção de bases e sub-bases. Essas camadas flexíveis são geralmente constituídas por solos, britas, escórias ou pela mistura de outros materiais (DNIT, 2006).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi examinar, em laboratório, a aplicação da estabilização mecânica de solos

de amostras de solo fino, cascalho local e misturas de solos. O estudo baseou-se nas técnicas de compactação e correção granulométrica como alternativa para melhoria de parâmetros geotécnicos de solos visando à construção de estradas florestais de baixo custo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo e materiais empregados

O estudo foi realizado em estradas florestais de povoamentos de eucalipto da empresa Anglo American Ltda. As estradas florestais da área de estudo possuíam conformação básica, sem nenhum tipo de tratamento superficial e destinaram-se ao transporte principal de madeira de eucalipto, para a produção de cavacos, a serem usados no processo de beneficiamento de minério.

Foram coletadas amostras deformadas de solos finos característicos de um trecho da estrada principal não pavimentada e amostras de solos granulares provenientes de duas jazidas de cascalho local, ambas realizadas no Horto Florestal Santa Luzia (coordenadas 14°26'41" S e 48°44'26" W) (Figura 1). As amostras do solo fino foram coletadas em 19 pontos ao longo da estrada florestal, distantes 50 metros, na profundidade de 0 a 20 cm em três pontos de coleta (repetições) por amostra, nas laterais e no centro da estrada. As amostras de solo foram homogeneizadas e embaladas em sacos plásticos, identificadas e enviadas ao Laboratório de Geotecnia da UnB para a realização dos ensaios.

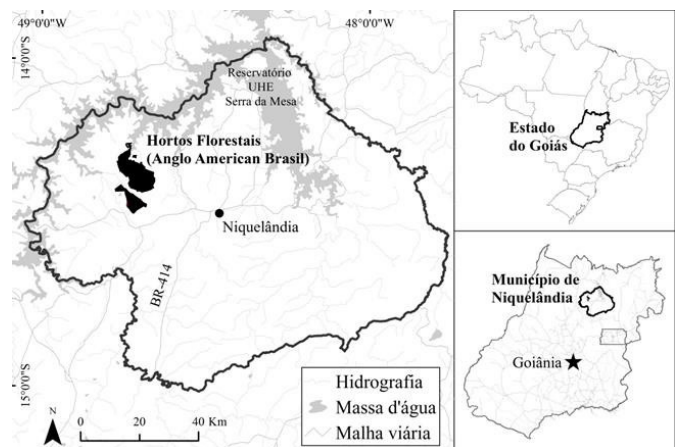


Figura 1. Localização da área florestal de coleta dos solos.

Figure 1. Forest area location for soil collecting.

### 2.2. Programa Experimental de Laboratório

As amostras de solo e cascalho foram secas ao ar por 72 horas para a determinação dos parâmetros físicos de massa específica dos grãos de solo (ABNT, 1984a) e granulometria (ABNT, 1984b). Em seguida, foram classificadas quanto ao comportamento geotécnico, pelo sistema rodoviário TRB (Transportation Research Board), conforme DNER (2006). Para a distribuição granulométrica das frações do solo, os limites estabelecidos foram adotados conforme ABNT (1995), sendo: (a) argila ( $\phi \leq 0,002$  mm); (b) silte ( $0,002$  mm <  $\phi \leq 0,06$  mm); (c) areia fina ( $0,06$  mm <  $\phi \leq 0,2$  mm); (d) areia média ( $0,2$  mm <  $\phi \leq 0,6$  mm); (e) areia grossa ( $0,6$  mm <  $\phi \leq 2$  mm); e (f) pedregulho (> 2 mm).

O solo fino e o cascalho foram submetidos, separadamente, ao processo de estabilização por compactação, sendo em seguida confeccionada a mistura de solo fino e granular

(solo fino-cascalho) para avaliar o potencial da estabilização granulométrica. A mistura solo fino-cascalho foi realizada adicionando-se o cascalho ao solo fino e água em quantitativos definidos, previamente, conforme recomendação técnica do manual do DNIT (2006), para atingir teores de umidade desejáveis, seguido por homogeneização manual. A mistura foi acondicionada em saco plástico, que foi hermeticamente fechado, para posterior uso nos ensaios geotécnicos. O quantitativo de solo fino e cascalho empregado na mistura foi de 50%, calculado sobre a massa seca de ambos, seguindo recomendação constante no manual DNIT (2006).

Foram realizados os ensaios mecânicos de compactação (ABNT, 1986) e índice de suporte Califórnia - CBR (DNER, 1994) no solo fino, cascalho e mistura solo fino-cascalho, sendo a determinação das curvas de compactação e dos parâmetros ótimos, peso específico aparente seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) e umidade ótima (Wot), realizados de acordo com o método Proctor. A compactação foi por processo dinâmico em molde cilindro de compactação Proctor (diâmetro interno de 10 cm, altura de 12,7 cm e volume de 1000 cm<sup>3</sup>) e foram empregadas as energias de compactação intermediária e modificada, cujas características encontram-se descritas na Tabela 1.

Para a avaliação da resistência mecânica via CBR, foram confeccionados corpos-de-prova com base nos parâmetros ótimos Wot e  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  do ensaio Proctor (cinco camadas internas, com soquete de 4,5 kg) no cilindro Califórnia ( $\phi = 15,2$  cm e  $h = 12,7$  cm). Os corpos-de-prova foram submetidos ao período de imersão em água de 96 horas (DNER, 1994), com medição diária dos valores de expansão. Os corpos-de-prova foram rompidos em triplicata, em prensa específica, por meio da penetração de um pistão padronizado (área = 3 in<sup>2</sup>) à velocidade de 1,143 mm/min, obtendo-se assim o valor CBR.

Os resultados de CBR e expansão foram também comparados com as recomendações técnicas do DNIT (2006) para material de camadas de pavimento rodoviário flexível, sendo: (a) subleito (CBR  $\geq 2\%$  e expansão  $\leq 2\%$ ); (b) reforço do subleito (CBR  $\geq 2\%$  e expansão  $\leq 1\%$ ); (c) Sub-base (CBR  $\geq 20\%$  e expansão  $\leq 1\%$ ); e (d) base (CBR  $\geq 80\%$  e expansão  $\leq 0,5\%$ ).

Tabela 1. Especificações do ensaio de compactação, em laboratório, segundo a ABNT (1986).

Table 1. Compaction test specification for laboratory proceedings by ABNT (1986).

Especificações da compactação	Energia de compactação	
	Intermediária	Modificada
Soquete de compactação	4,54 kg	4,54 kg
Número de camadas	3	5
Golpes por camada	21	27
Energia (kg cm <sup>-2</sup> )	13	29

### 2.3. Análise estatística dos dados

Realizou-se análise de variância (ANOVA) seguida do contraste de médias (teste Tukey), ao nível de significância de 95%, para comparar o efeito das energias de compactação intermediária e modificada nas variáveis CBR e expansão dos materiais solo fino, cascalho e mistura solo fino-cascalho, testados como revestimentos de baixo custo.

## 3. RESULTADOS

A caracterização física do solo fino e do cascalho evidenciou dois materiais com distribuição granulométrica

distinta. Na Tabela 2, é possível observar a predominância, no material solo fino, de frações com diâmetro de tamanho de partícula inferiores a 0,2 mm, sendo os maiores percentuais observados para a fração areia fina (46,63%), argila (21,80%) e silte (12,70%). No cascalho, os resultados obtidos evidenciaram a predominância da fração pedregulho ( $\phi > 2$  mm) com 66,00%.

Segundo as recomendações técnicas do DNIT (1996), somente o cascalho pode ser empregado em base granular de pavimentos flexíveis, pelo fato de possuir mais de 25% de tamanho de suas partículas superior a 2 mm, referente à fração pedregulho. Os valores da massa específica dos grãos do solo foram de 2,69 g cm<sup>-3</sup> e 2,98 g cm<sup>-3</sup> para o solo fino e cascalho, respectivamente. Esses valores foram importantes no cálculo de outros índices físicos e variaram pouco de solo para solo, com valores próximos de 2,75 g cm<sup>-3</sup>. Houve associação entre os valores típicos de  $\gamma_s$  com a natureza mineralógica dos solos. O solo fino foi classificado como A-4(1) pelo sistema TRB, indicando ser um material de comportamento regular a ruim para uso em subleitos rodoviários. O cascalho foi classificado como A-1-b, enquadrando-se na classe excelente a bom para emprego em subleitos de estradas.

As curvas de compactação do solo fino, cascalho e da mistura solo fino-cascalho está ilustrado na Figura 2, onde foi notória a importância da composição granulométrica dos materiais e a energia de compactação empregada, que definiram o formato das curvas de compactação e os valores de densidade e umidade obtidos. O aumento do esforço de compactação proporcionou deslocamentos das curvas de compactação para a esquerda e para cima, o que resultou em redução do teor de umidade (%) e no aumento do peso específico seco (kN m<sup>-3</sup>) de cada material, respectivamente. Isso indicou tendência de ganhos de resistência mecânica.

Os valores ótimos de compactação ( $W_{ot}$  e  $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ), obtidos no ponto de inflexão máximo das curvas de compactação, encontram-se na Tabela 3. Ficou evidente que a adição de cascalho ao solo fino reduziu em 28,35% o  $W_{ot}$  na energia intermediária, com respectivo incremento no seu  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  de 3,71%. De forma análoga, a compactação na energia modificada da mistura solo fino-cascalho também reduziu o  $W_{ot}$  do solo fino (29,51 %), com consequente aumento do seu

Tabela 2. Granulometria, massa específica dos grãos do solo ( $\gamma_s$ ), umidade higroscópica (%) e classificação rodoviária TRB para o solo fino e cascalho.

Table 2. Size distribution of particle of soil, density of the grains ( $\gamma_s$ ), hygroscopic moisture (%), and TRB road classification for fine and course soils.

Propriedades físicas	Material	
	Solo fino	Cascalho
Umidade Higroscópica (%)	1,45	3,07
Massa Específica $\gamma_s$ (g cm <sup>-3</sup> )	2,69	2,98
Frações (%)		
Argila ( $\phi \leq 0,002$ mm)	21,80	10,00
Silte (0,002 mm $< \phi \leq 0,06$ mm)	12,70	6,90
Areia Fina (0,06 mm $< \phi \leq 0,2$ mm)	46,63	9,00
Areia Média (0,2 mm $< \phi \leq 0,6$ mm)	9,91	2,40
Areia Grossa (0,6 mm $< \phi \leq 2$ mm)	3,76	5,70
Pedregulho ( $\phi > 2$ mm)	5,20	66,00
Classificação TRB	A-4 (2)	A-1-b

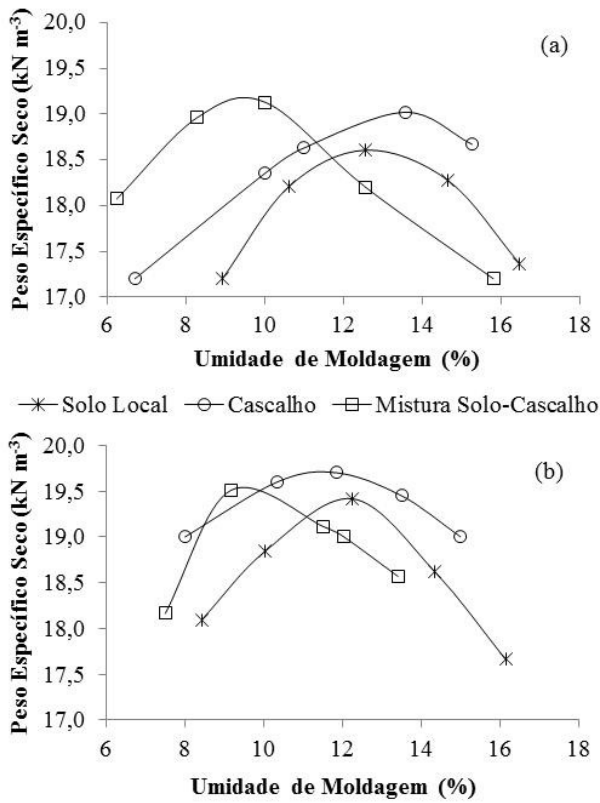


Figura 2. Comportamento das curvas de compactação dos solos e da mistura solo fino-cascalho: (a) esforço de compactação intermediário, e; (b) esforço de compactação modificado.  
 Figure 2. Compaction curve displacement for soils and fine-course soil mixture based on intermediate compaction force (a) and modified compaction force (b).

$\gamma_{dm\acute{a}x}$  (2,56 %). Na Tabela 3 observa-se também a influência do aumento do esforço de compactação nos solos e mistura solo fino-cascalho, com reduções dos valores de  $W_{ot}$  associados a incrementos nos valores de  $\gamma_{dm\acute{a}x}$ .

Os resultados dos ensaios de CBR são apresentados na Figura 3. O cascalho apresentou os maiores valores de CBR, atingindo na energia de compactação modificada, valor (85,36 %) para uso em camada de base de pavimentos rodoviários flexíveis. O solo fino apresentou baixos valores de CBR, em ambos os esforços de compactação, podendo somente ser usado como material de reforço do subleito de estradas. A mistura de cascalho ao solo fino, seguida de compactação, proporcionou incrementos nos valores de CBR do solo fino, da ordem de 108,72 % e 203,25 %

Tabela 3. Parâmetros ótimos de compactação de umidade ( $W_{ot}$  %) e peso específico seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$  kN m<sup>-3</sup>) para os solos e a mistura solo fino-cascalho nas energias de compactação intermediária (EI) e modificada (EM).  
 Table 3. Optimal compaction parameters of moisture ( $W_{ot}$  %) and bulk density ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$  kN m<sup>-3</sup>) for the soils and the fine-course mixture from intermediate (EI) and modified compaction (EM) forces.

Material	EI		EM	
	$W_{ot}$ (%)	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (KN m <sup>-3</sup> )	$W_{ot}$ (%)	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (KN m <sup>-3</sup> )
Solo fino	12,70	18,61	12,20	19,42
Cascalho	14,50	18,85	10,30	19,51
Solo fino-cascalho	9,10	19,30	8,60	19,93

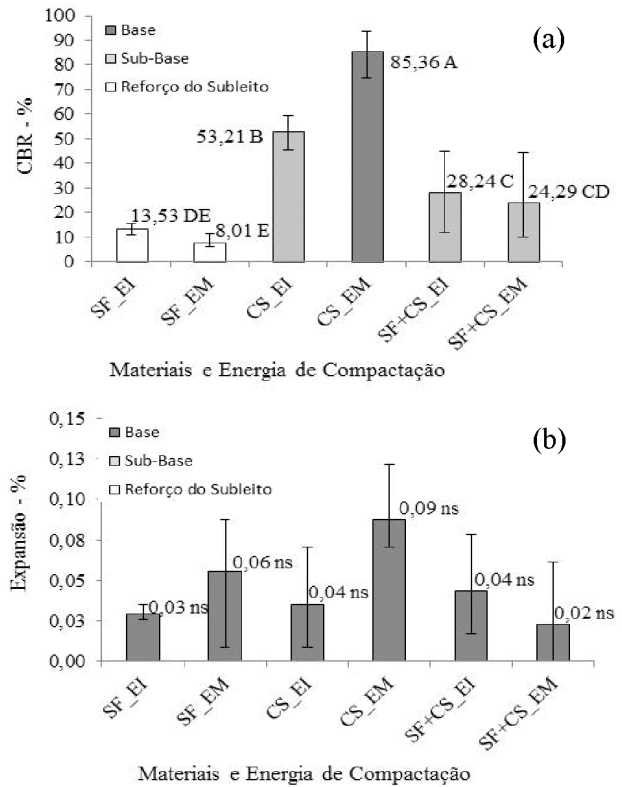


Figura 3. Resultados de CBR (a) e expansão (b) para o solo fino, cascalho e mistura solo fino-cascalho, nos esforços de compactação intermediário e modificado e do teste de Tukey (q= 6:12). Barras representam valores médios e linha vertical valores mínimo e máximo.  
 Figure 3. Results of CBR (a) and expansion (b) for the fine soil, gravel and fine-course mixture, on intermediate and modified compaction forces and Tukey test (q = 6:12). Bars represent average values and vertical lines mean minimum and maximum values.

respectivamente, nas energias intermediária e modificada, podendo a mistura solo fino-cascalho ser usada em sub-base de pavimentos rodoviários (Figura 3a).

#### 4. DISCUSSÃO

Braida et al. (2006) e Ramos et al. (2013) associaram as discrepâncias encontradas nos valores de  $W_{ot}$  e  $\gamma_{dm\acute{a}x}$ , em solos de texturas diferentes, ao teor de argila. Segundo os autores, a argila, em função da sua CTC (capacidade de troca catiônica), é muito mais reativa do que as outras frações do solo, sendo capaz de interagir mais com a água, diminuindo o seu efeito lubrificante entre as partículas minerais. Esse comportamento gera maior coesão, diminuindo a susceptibilidade à compactação do solo.

Houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os valores de CBR encontrados para os materiais, conforme pode ser observado na Figura 3a, onde o cascalho compactado na energia

modificada apresentou a melhor resposta. O solo fino apresentou o pior resultado, independentemente da energia de compactação empregada. Não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre o cascalho compactado no esforço intermediário e a mistura solo fino-cascalho nas energias intermediária e modificada. Os valores de expansão (Figura 3b) obtidos para os materiais não apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) e todos foram inferiores a 0,5%, valor esse que atende as especificações do DNIT (2006) para material de base de pavimentos rodoviários flexíveis.

Almeida et al. (2010), em estudo de estabilização mecânica envolvendo a mistura de um solo arenoso e outro argiloso, os valores alcançados foram de 63% para o índice CBR e 0,09% para a expansão, quando compactada na energia modificada com proporção de mistura de 80% de areia e 20% de argila. Machado et al. (2007), em estudos de laboratório envolvendo solos e resíduo industrial, encontraram um valor de 35,50% para o CBR e 1,03% para a expansão em um cascalho classificado como A-1-a pela TRB, com compactação na energia intermediária.

## 5. CONCLUSÃO

A estabilização mecânica melhorou os parâmetros geotécnicos de solos finos e grossos locais para emprego em estradas florestais. O cascalho local alcançou a maior capacidade de suporte e respondeu diferentemente às energias compactação, atingindo índices geotécnicos para serem usadas em camadas de sub-base e base de pavimentos. A mistura de solos (solo fino-cascalho) foi superior à capacidade de suporte alcançada pelo solo fino local nas energias de compactação intermediária e modificada. A mistura pode ser empregada como camada de sub-base em estradas florestais. Os solos finos compactados suportam capacidades adequadas para subleitos de estradas florestais.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos ao CNPq pelo apoio financeiro do projeto (Processo 136027/2008-3 Edital MCT/CNPq nº 27/2007 - Mestrado), à empresa Anglo American pela disponibilização da área de estudo e aos técnicos do laboratório de geotecnia da UnB pelo auxílio na execução dos ensaios.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. S. S.; LIMA, D. C.; CARVALHO, C. A. B.; MACHADO, C. C.; BARBOSA, P. S. A.; SILVA, C. H. C. Correção granulométrica de solos para aplicações em estradas florestais: estudo de caso com solos da Cenibra. *Revista Árvore*, Viçosa, v.34, n.6, p.1085-1090, 2010. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000600014>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira 4,8 mm: determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984a. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181**: Solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro, ABNT, 1984b. 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7182**: Solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 10p.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.30, n.4, p.605-614, 2006. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000400001>.
- CÔRREA, C. M. C.; MALINOVSKI, J. R.; ROLOFF, G. Bases para o planejamento de rede viária em reflorestamento no sul do Brasil. *Floresta*, Curitiba, v.36, n.2, p.277-286, 2006.
- CÔRREA, C. M. C.; DEDECEK, M. A. Erosão real e estimada através da Rusle em estradas de uso florestal, em condições de relevo plano a suave ondulado. *Floresta*, Curitiba, v.39, n.2, p.381-391, 2009.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **ME 049**: Solos: determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro: DNER, 1994. 12p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274p.
- HOSSAIN, K. M. A.; LACHEMI, M.; EASA, S. Stabilized soils for construction applications incorporating natural resources of Papua new Guinea. *Resources, Conservation and Recycling*, Amsterdam, v.51, n.4, p.711-731, 2007. <https://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.12.003>.
- LEKNA, B. M.; GOUTHAM, S.; SHANKAR, A. U. R. Evaluation of lateritic soil stabilized with Arecanut coir for low volume pavements. *Transportation Geotechnics*, Amsterdam, v.2, n.1, p. 20-29, 2015. <https://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2014.09.001>.
- LIM, S. M.; WIJESEKERA, D. C.; LIM, A. J. M. S.; BAKAR, I. B. H. Critical review of innovative soil road stabilization techniques. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Bhopal, v.3, n.5, p. 204-211, jun. 2014.
- MACHADO, C. C.; PEREIRA, R. S.; TRINDADE, T. P.; LIMA, D. C.; CARVALHO, C. A. B.; SANTOS, S. L. M. Análise técnica e avaliação de trechos experimentais de misturas solo-lama de cal com vistas a aplicações em estradas florestais. *Revista Árvore*, Viçosa, v.31, n.2, p.265-274, 2007.
- MILLOGO, Y.; MOREL, J. C.; TRAORÉ, K.; OUEDRAOGO, R. Microstructure, geotechnical and mechanical characteristics of quicklime-lateritic gravels mixtures used in road construction. *Construction and Building Materials*, Amsterdam v.26, n.1, p.663-669, 2012. <https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.069>.
- OLIVEIRA, J. F. GRIEBELER, N. P.; CORRECHEL, V.; SILVA, V. C. Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, p. 95-960, supl. 2009. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000700019>.
- ONYELOWE, K. C.; OKAFOR, F. O. A comparative review of soil modification methods. *ARPN Journal of Earth Sciences*, Ipswich-MA, v.1, n.2, p.36-41, 2012.
- PORTELINHA, F. H. M.; LIMA, D. C.; FONTES, M. P. F.; CARVALHO, C. A. A. Modification of a lateritic soil with lime and cement: an economical alternative for flexive pavement layers. *Soils and Rocks*, São Paulo, v.35, n.1, p.51-63, 2012.
- RAMOS, F. T.; RAMOS, D. T.; MAIA, J. C. S. et al. Curvas de compactação de um latossolo vermelho-amarelo com e sem reuso de amostras. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.17, n.2, p. 129-136, 2013. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000200003>.

- RÜCKNAGEL, J.; GÖTZE, P.; HOFFMANN, B.; CHRISTEN, O.; MARSCHALL, K. The influence of soil gravel content on compaction behaviour and pre-compression stress. **Geoderma**, Amsterdam, v. 209-210, n.11, p. 226-232, 2013. <https://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.05.030>
- SESSIONS, J. **Forest road operations in the tropics**. 1.ed. Oregon: Springer, 2007. 170p.
- TRINDADE, T. P.; CAVALHO, C. A. B.; LIMA, D. C. et. al. **Compactação de solos: fundamentos teóricos e práticos**. 1.ed. Viçosa: UFV, 2008. 95p.
- ZAGONEL, R.; CÔRREA, C. M. C.; MALINOVSKI, J. R. Densidade ótima de estradas de uso florestal em áreas de relevo plano em povoamentos de Pinus taeda no planalto catarinense. **Scientia forestalis**, Piracicaba, v.36, n.77, p. 33-41, 2008.