

## Efeito da Carga de um Forwarder sobre a Compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo<sup>(1)</sup>.

**Arystides Resende Silva<sup>(2)</sup>, Moacir de Souza Dias Junior<sup>(3)</sup>, Fernando Palha Leite<sup>(4)</sup>, Eduardo Jorge Maklouf Carvalho<sup>(5)</sup> & Carlos Alberto Costa Veloso<sup>(5)</sup>**

(1) Trabalho executado com recurso da Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Celulose Nipo-Brasileira S.A (CENIBRA).

(2) Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amazônia Oriental, Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/n, Bairro Marco, Caixa Postal, 48, CEP 66095-100 Belém (PA). E-mail: [arystides.silva@embrapa.br](mailto:arystides.silva@embrapa.br); (3) Professor do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal, 3037, CEP 37.200-000 Lavras (MG). Bolsistas CNPq. E-mail: [msouzadi@ufla.br](mailto:msouzadi@ufla.br); (4) Pesquisador Cenibra, E-mail: [fernando.leite@cenibra.com.br](mailto:fernando.leite@cenibra.com.br); (5) Pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amazônia Oriental, Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/n, Bairro Marco, Caixa Postal, 48, CEP 66095-100 Belém (PA). E-mail: [eduardo.maklouf@embrapa.br](mailto:eduardo.maklouf@embrapa.br); [carlos.veloso@embrapa.br](mailto:carlos.veloso@embrapa.br).

**RESUMO:** A operação de baldeio florestal está relacionada ao uso de máquinas as quais trafegam numa mesma linha várias vezes, o que pode causar compactação do solo. Além do número de passadas, a carga de madeira transportada também pode afetar a compactação do solo, quando as pressões aplicadas pelas máquinas excederem a capacidade de suporte de carga desse solo. O objetivo deste estudo foi determinar, com o uso do modelo de capacidade de suporte de carga para Latossolo Vermelho-Amarelo no Município de Santa Maria de Itabira – MG, o efeito da carga de um Forwarder sobre a compactação do solo durante o transporte da madeira de eucalipto dentro do talhão. Foram coletadas 10 amostras indeformadas em cada profundidade onde o Forwarder trafegou 4 vezes com 1/3 (3 m<sup>3</sup>), 2/3 (6 m<sup>3</sup>) e 3/3 (9 m<sup>3</sup>) de sua carga. Determinou-se também a textura, o teor de matéria orgânica, densidade de partículas e densidade dos solos. As amostras indeformadas foram utilizadas nos ensaios de compressão uniaxial. À medida que a carga do Forwarder aumentou, a compactação do solo também aumentou nas duas profundidades

**Termos de indexação:** Pressão de preconconsolidação, mecanização florestal, *Eucalyptus spp.*

### INTRODUÇÃO

A compactação em solos florestais está relacionada ao uso de máquinas nas operações de colheita e baldeio da madeira (Dias Junior & Pierce, 1996; Dedecek & Gava, 2005; Silva et al., 2007) que trafegam várias vezes em uma mesma linha de tráfego ou aleatoriamente na área (Raper, 2005; Hanza & Anderson, 2005; Silva et al., 2007; Schaffer et al., 2008) e a carga que essas máquinas transportam, podendo aplicar pressões aos solos maiores do que a sua capacidade de suporte de carga (Dias Junior et al., 2005), resultando em

compactação e alterando o meio onde o sistema radicular se desenvolve, o que dificulta a penetração das raízes, a extração de água e o crescimento das plantas, afetando seu potencial produtivo (Dedecek & Gava, 2005), e a qualidade ambiental devido ao aumento do processo erosivo culminando com redução na produtividade (Reichert et al., 2009).

Portanto, o tráfego em áreas cultivadas com eucalipto torna-se preocupante devido à possibilidade de disseminação da compactação (Dias Junior et al., 2005; Silva et al., 2007), principalmente quando é realizado em condições inadequadas de umidade e por vários ciclos da exploração florestal. (Raper, 2005; Hanza & Anderson, 2005; Silva et al., 2007; Silva et al., 2009).

O objetivo deste estudo foi de determinar, com o uso do modelo de capacidade de suporte de carga para Latossolo Vermelho-Amarelo no Município de Santa Maria de Itabira – MG, o efeito da carga de um Forwarder sobre a compactação do solo durante o transporte da madeira de eucalipto dentro do talhão.

### MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido em áreas experimentais da Celulose Nipo-Brasileira S.A (CENIBRA), localizada no município de Santa Maria de Itabira – MG, com as coordenadas 19° 23' 11,63" S e 42° 54' 16,11" W de Greenwich e altitude de 850 metros. O solo na área é um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, relevo declivoso.

As operações de colheita florestal foram realizadas com motosserra e a retirada da madeira foi manual. Foram demarcadas parcelas de quatro linhas de árvores com 26 árvores na linha com espaçamento de 3 x 2 m apresentando uma área total de 624 m<sup>2</sup>, onde avaliou-se o efeito da carga de tráfego, no qual utilizou o Forwarder autocarregável (marca Valmet, modelo 636 S), com tara de 11,9 t, onde recebeu cargas correspondentes a 1/3 (3 m<sup>3</sup>),

2/3 (6 m<sup>3</sup>) e 3/3 (9 m<sup>3</sup>) de madeira, trafegando quatro vezes na mesma entrelinha.

Para determinar o efeito da Carga do Forwarder coletou-se na linha de tráfego, nas profundidades 0-3 e 10-13 cm, 10 amostras indeformadas em cada situação de tráfego. As amostras indeformadas foram coletadas usando um amostrador tipo Uhland com anel volumétrico de 6,40 cm de diâmetro e 2,54 cm de altura. Estas amostras foram parafinadas no campo, para evitar alterações na umidade a partir do momento da coleta até a realização do ensaio de compressão uniaxial no laboratório.

No laboratório, os ensaios de compressão uniaxial foram realizados nessas amostras com a umidade na qual as operações com o forwarder foram realizadas usando um consolidômetro da marca Boart Longyear, por meio do qual as pressões foram aplicadas utilizando-se ar comprimido. As pressões aplicadas a cada amostra obedeceram à seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 kPa. Cada pressão foi aplicada até que 90% da deformação máxima fosse atingida (Taylor, 1948) e, após essa condição ser atingida, aplicou-se uma nova pressão. Para cada umidade de operação do forwarder as pressões de preconsolidação foram obtidas de acordo com Dias Junior & Pierce (1995) e plotadas nos modelos de capacidade de suporte de carga de cada região obtidos por Silva et al., (2011), determinando assim o efeito da carga do forwarder sobre a estrutura do solo.

As amostras deformadas foram obtidas pela coleta de solo das porções superiores e inferiores dos anéis de amostragem, nas quais foram determinados os teores de matéria orgânica, textura e a densidade de partículas (Embrapa, 1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de textura, matéria orgânica, densidade de partículas e densidade do solo são apresentados na Tabela 1.

Para analisar os efeitos das diferentes condições de carga do forwarder foi utilizado o modelo de capacidade de suporte de carga obtidos por Silva et al. (2011) para a região onde este estudo foi conduzido (Figura 1 e 2).

Para avaliar carga do Forwarder sobre a estrutura do LVA foram inseridos no modelo de capacidade de suporte de carga (Figura 2), os valores das pressões de preconsolidação com suas respectivas umidades, obtendo-se os valores na Tabela 2, respectivamente de acordo com os critérios usados por Dias Junior et al. (2005), assim dividindo a Figura 2 em três regiões.

As regiões consideradas são: a) região onde os valores da pressão de preconsolidação

determinados após o tráfego forem maiores que o limite superior do intervalo de confiança, sendo considerada a região com compactação do solo adicional; b) região onde os valores da pressão de preconsolidação determinados após o tráfego estão entre os limites de confiança inferior e superior, considerada como região sem compactação, mas com tendência em compactar; e c) região onde os valores da pressão de preconsolidação determinada após o tráfego são menores que o limite inferior do intervalo de confiança, considerada a região sem compactação.

Os resultados apresentados na Tabela 2 indica quando a carga do Forwarder foi aumentada de 3 m<sup>3</sup> para 6m<sup>3</sup> e para 9m<sup>3</sup> (Tabela 3), as porcentagens de amostras compactadas foram de 60, 80 e 90%, respectivamente, na profundidade de 0-3 cm, e de 70, 80 e 90% na profundidade de 10-13 cm, respectivamente. Estes resultados indicam que com o aumento da carga ocorreu aumento da compactação nas duas profundidades. Estes resultados discordam dos obtidos por Çarman (2002), segundo o qual o aumento da carga não aumenta, necessariamente, a compactação do solo, devido ao aumento da superfície de contato pneu/solo, resultando na redistribuição da carga no solo. No entanto, os dados corroboram os resultados obtidos por Silva et al. (2007), onde observou, que após 441 dias sem nenhum tráfego na área, houve um decréscimo significativo na densidade do solo onde o Forwarder trafegou carregado com 4 m<sup>3</sup> de madeira, indicando que menores cargas podem ocorrer uma resiliência em relação a compactação do solo ao longo do tempo.

## CONCLUSÕES

À medida que aumentou a carga do Forwarder à compactação do solo aumentou nas duas profundidades.

## REFERÊNCIAS

- BOWLES, J. E. Engineering properties of soils and their measurements. 3. ed. Auckland: McGraw-Hill, 1986. 218 p.
- ÇARMAN, K. Compaction characteristics of towed wheels on clay loam in a soil bin. *Soil & Tillage Research*, 65:37-43, 2002.
- DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. *Soil Technology*, 8:139-151, 1995.
- DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. Revisão de Literatura. O processo de compactação do solo e sua



modelagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 20:175-182, 1996.

DIAS JUNIOR, M.S.; LEITE, F.P.; LASMAR JUNIOR, E.; ARAÚJO JUNIOR, C.F. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to eucalyptus harvest operations. Scientia Agricola, 62:248-255, 2005.

DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na profundidade da rebrota de eucalipto. Revista Árvore, 29:383-390, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Ministério da agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems a review of the nature, causes and possible solutions. Soil & Tillage Research, 82:121-145, 2005.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. Soil and Tillage Research, 102:242-254, 2009

RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. Journal of Terramechanics, 42:259-280, 2005.

SCHAFFER, B.; STAUBER, M.; MUELLER, T. L.; MULLER, R.; SCHULIN, R. Soil and macro-pores under uniaxial compression: I mechanical stability of repacked soil and deformation of different types of macro-pores. Geoderma, 146:183-191, 2008.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P. T. C.; ARAUJO JUNIOR, C. F. Modelagem da Capacidade suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um Latossolo amarelo cultivado com cafeeiros. Revista Brasileira Ciência do Solo, 31:207-216, 2006.

SILVA, S. R.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; MENDONÇA, E.S.; LEITE, F.P. Alterações do solo influenciadas pelo tráfego e carga de um forwarder nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:371-377, 2007.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. S.; LEITE, F.P. Camadas de resíduos florestais e pressão de preconsolidação de dois latossolos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 34:89-93, 2007.

SILVA, R. B.; LANÇAS, K. P.; MIRANDA, E. E. V.; SILVA, F. A. M.; BAIO, F. H. R. Estimation and evaluation of dynamic properties as indicators of changes on soil structure in sugarcane fields of São Paulo state – Brazil. Soil and Tillage Research, 2:265-270, 2009.

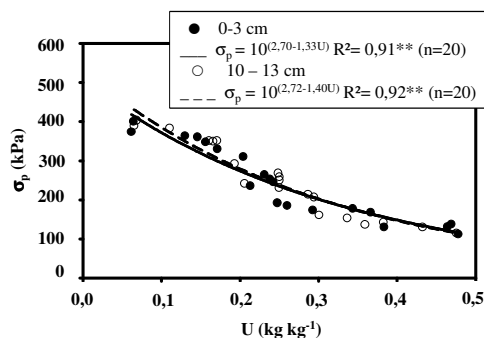
SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. S.; LEITE, F.P. Avaliação da Intensidade de tráfego e carga de um Forwarder sobre a compactação de um Latossolo Vermelho-amarelo. Revista árvore, 35:547-554, 2011.

TAYLOR, D. W. Fundamentals of soil mechanics. New York: John Wiley & Sons, 1948. 700 p.

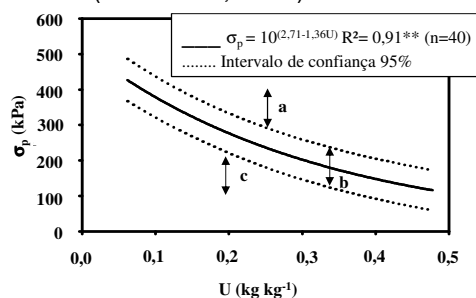
**Tabela 1.** Caracterização física e teor de Materia orgânica de material de Latossolo Vermelho-Amarelo localizado na Região de Cocais, coletado nas profundidades de 0-3 e 10-13 cm

Camadas	Argila	Areia	Silte	MO <sup>1</sup>	Dp <sup>1</sup>	Ds <sup>1</sup>
-----cm-----	-----g kg <sup>-1</sup> -----	-----g kg <sup>-1</sup> -----	-----g kg <sup>-1</sup> -----	-----g kg <sup>-1</sup> -----	-----g cm <sup>-3</sup> -----	-----g cm <sup>-3</sup> -----
0 – 3	537b	407a	56a	40a	2,50b	0,98a
10 – 13	570a	367b	63a	25b	2,56a	0,94a

<sup>1</sup>: MO = matéria orgânica; Dp = densidade de partículas; Ds densidade do solo. Médias nas colunas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.



**Figura 1.** Modelos da capacidade de suporte de carga para o Latossolo Vermelho-Amarelo nas profundidades de 0-3 e 10-13 cm. Fonte: (Silva et al., 2011).



**Figura 2.** Modelo da capacidade de suporte de carga para o Latossolo Vermelho-Amarelo para as profundidades de 0-3 e 10-13 cm. As regiões indicadas pelas letras “a”, “b” e “c” foram estipuladas de acordo com Dias Junior et al. (2005).

**Tabela 3:** Valores médios de umidade e pressão de preconsolidação e classificação das amostras de solo em porcentagem, de acordo com cada região “a”, “b” e “c” da figura 2, usando os valores de pressão de preconsolidação determinadas após quatro passadas do Forwarder com diferentes cargas para um Latossolo Vermelho-Amarelo nas profundidades de 0-3 e 10-13 cm utilizando os critérios de Dias Junior et al. (2005).

Efeito da Carga de Tráfego Forwarder						
Região	Profundidade de 0-3 cm					
	1/3 carga (3m <sup>3</sup> )		2/3 carga (6m <sup>3</sup> )		3/3 carga (9m <sup>3</sup> )	
	U	σp	U	σp	U	σp
	kg kg <sup>-1</sup>	kPa	kg kg <sup>-1</sup>	kPa	kg kg <sup>-1</sup>	kPa
	0,25 <sup>(1)</sup>	312 <sup>(1)</sup>	0,25 <sup>(1)</sup>	336 <sup>(1)</sup>	0,25 <sup>(1)</sup>	349 <sup>(1)</sup>
	----- % -----					
a - Compactação	60		80		90	
b - Sem compactação, mas com risco de compactar	40		20		10	
c - Sem compactação	0		0		0	
Região	Profundidade de 10-13 cm					
	1/3 carga (3m <sup>3</sup> )		2/3 carga (6m <sup>3</sup> )		3/3 carga (9m <sup>3</sup> )	
	U	σp	U	σp	U	σp
	kg kg <sup>-1</sup>	kPa	kg kg <sup>-1</sup>	kPa	kg kg <sup>-1</sup>	kPa
	0,23 <sup>(1)</sup>	296 <sup>(1)</sup>	0,23 <sup>(1)</sup>	354 <sup>(1)</sup>	0,23 <sup>(1)</sup>	335 <sup>(1)</sup>
	----- % -----					
a - Compactação	70		80		90	
b - Sem compactação, mas com risco de compactar	20		20		10	
c - Sem compactação	10		0		0	

<sup>(1)</sup>Médias de 10 repetições