

COMPACTAÇÃO DO SOLO PELA COLHEITA DE EUCALIPTO: SUA AVALIAÇÃO E EFEITO NA PRODUTIVIDADE DA REBROTA

SOIL COMPACTION FROM MECHANIZED HARVESTING OF EUCALYPTUS: ITS EVALUATION AND EFFECT ON THE PRODUCTIVITY OF REGROWTH

Dedecek, R.A.¹ e Gava, J.L.²

¹ Pesquisador da EMBRAPA/CNPF - Colombo-PR

² Responsável pelo Setor de Produção da Cia. Suzano de Papel e Celulose - Itapetininga-SP

RESUMO

Em área de rebrota, com solos de textura diferente, em propriedades da Cia. Suzano de Papel e Celulose, foram selecionadas trinta linhas de plantio para determinação de: produtividade de eucalipto aos sete anos de idade, densidade e resistência do solo a 50 cm da linha de plantio. A densidade foi obtida pela coleta de amostras indeformadas em tres profundidades: 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm; a resistência do solo obteve-se com penetrômetro - SC 60 - até 60 cm de profundidade. Houve correlação negativa entre a densidade do solo na profundidade de 10 a 20 cm, em solo argiloso, com o volume de madeira das linhas de eucalipto, com um r^2 de 0,86, em solo arenoso, esta correlação ocorreu na profundidade de 20 a 30 cm, com um $r^2=0,77$. Nestas mesmas profundidades e locais os coeficientes de correlação (r^2) para a resistência do solo e o volume de madeira foram de 0,29 e 0,93, respectivamente. A correlação entre a densidade do solo e a resistência, em solo arenoso mostrou um índice de correlação de 0,84, e em solo argiloso, de 0,68. A redução da produtividade do eucalipto chega até a dois terços, considerando-se área de rebrota após colheita mecanizada, em linhas de maior e menor tráfego das máquinas. A camada superficial do solo recupera parcialmente a estrutura com o passar do tempo, o que não acontece nas camadas subsuperficiais. A compactação é máxima de 10 a 20 cm em solo argiloso e de 20 a 30 cm em solo arenoso.

ABSTRACT

Soil compaction by mechanized harvest of eucalyptus: its evaluation and effect on

regrowth productivity. In two areas of eucalyptus regrowth, with soil of different textures, belonging to Cia. Suzano of Paper and Cellulose, there were selected thirty plantation lines to evaluate: eucalyptus productivity at seven years of age, soil bulk density and soil resistance. Soil bulk density was obtained by collecting undisturbed soil samples at three depth: 0 - 10; 10 - 20 and 20 - 30 cm; and soil resistance by using a penetrometer SC - 60, to soil depth of 60 cm. Best negative correlation between soil density and eucalyptus yield were obtained at soil depth of 10 - 20 cm, $r^2 = 0,86$, in a sandy soil and, at 20 - 30 cm, in a clayey soil, with an $r^2 = 0,77$. On same soil depths and soil textures, correlation coefficients between soil penetrometer resistance and eucalyptus productivity were 0,29 and 0,93, respectively. Correlation coefficients between soil bulk density and soil penetrometer resistance were 0,84, on a sandy soil and 0,68 on a clayey soil. Eucalyptus productivity was reduced until 60%, comparing traffic and no-traffic lines, due to soil compaction. Soil surface layer seems to recover its original soil bulk density seven years after harvesting, and soil compaction reached its maximum at 10 - 20 cm depth, on clayey soil and, 20 - 30 cm, on sandy soil.

INTRODUÇÃO

A colheita de florestas envolve tráfego intenso e pesado de máquinas sobre o solo na retirada das árvores cortadas da área, e tem sido a principal causa da compactação dos solos florestais. Esta atividade altera a estrutura e as propriedades hídricas do solo, dificultando o crescimento e distribuição das

raízes no solo e conseqüentemente o desenvolvimento das florestas.

Segundo Matthies et al. (1995), qualquer solo sofre mudanças mensuráveis na estrutura após a passagem de um veículo, se a carga exceder sua estabilidade inerente, que de forma geral situa-se ao redor de 50 KPa. Dependendo da relação carga/distribuição nas rodas dos veículos, a compactação de um solo pode chegar até 80 cm de profundidade, sendo que a compactação máxima situa-se na profundidade entre 30 e 55 cm (Warkotsch et al., 1994). Após 27 passadas de uma máquina em solo anteriormente bem estruturado, a profundidade do sulco feito pelo pneu chegou a 10 cm e a resistência do solo à penetração aumentou 2 a 3 vezes, segundo Jakobsen & Greacen (1985).

Para Lacey et al. (1996), as mudanças nas propriedades físicas do solo após a colheita de florestas foram no sentido de aumentar a densidade e a resistência do solo e de reduzir a permeabilidade saturada do solo. A densidade arenosa do solo na camada de 0 a 5 cm, após a passagem da cortadeira e do autocarregável foi de $0,80 \text{ Mg/m}^3$ na linha de tráfego, $0,77 \text{ Mg/m}^3$ nas áreas de corte e $0,42 \text{ Mg/m}^3$ nas áreas sem tráfego (Shetron et al., 1988).

O crescimento em altura e diâmetro de *E. regnans* com um ano de idade correlacionou-se negativamente com a densidade do solo na camada de 0 a 10 cm, tendo maior efeito na altura que no diâmetro (Rab, 1994). Este mesmo autor reporta que reduções de 50 % no incremento de altura e diâmetro de *E. regnans* foram observadas em densidades de 0,91 e $0,96 \text{ Mg/m}^3$, e que estes incrementos cessariam em solos com densidades de 1,32 e $1,43 \text{ Mg/m}^3$, respectivamente. Segundo Sands et al. (1979), em solos arenosos densidades acima de $1,35 \text{ Mg/m}^3$ diminuem o crescimento do caule e das raízes e observou uma severa restrição ao crescimento das raízes em solos com resistência acima de 3 MPa. Para *E. regnans*, Rab (1996) encontrou reduções no peso das raízes de 18%, quando a densidade do solo passou de 0,7 a $0,9 \text{ Mg/m}^3$.

Este trabalho tem como objetivos correlacionar as modificações das proprie-

dades físicas de solos de diferentes texturas com a produtividade do eucalipto, determinar dentre as propriedades físicas testadas qual a mais sensível para estabelecer esta correlação e qual a possibilidade de uso da resistência do solo obtida pelo penetrômetro como medida de rotina nas avaliações de compactação do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Em área de plantio comercial de *Eucalyptus grandis*, em área de rebrota, da Cia Suzano de Papel e Celulose foram selecionados dois talhões, com florestas de sete anos de idade: 1. Município de São Miguel Arcanjo-SP, Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa (G12C) e, 2. Município de Itatinga-SP, Areia Quartzosa (G15A). A colheita nestas áreas compreende o uso da motosserra para corte, sendo o baldeio feito com caminhão com pneus de alta pressão (caminhão toco). O espaçamento usado nos dois locais foi de 3 m entre linhas de plantio e 1,50 m entre plantas na linha, e a colheita efetuada em 1989.

Com base na colheita mecanizada, foram separados conjuntos de cinco linhas, correspondendo: a. linha sem depósito de madeira e sem tráfego de máquina, b. linha com depósito de madeira e, c. linha de retirada de madeira ou de tráfego. Para estas situações, foram obtidas amostras de solo indeformadas, a 50 cm da linha de plantio nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, para determinação de: densidade do solo e de partículas, macro, micro e porosidade total, permeabilidade do solo saturada e curva de retenção de água. Nestes mesmos locais foram coletadas amostras de solo para análise química e granulométrica. Em cada uma das linhas de um conjunto de cinco, foram feitas amostras com anéis volumétricos para determinação da densidade do solo, nas distâncias de 50, 150 e 250 cm da linha e nas mesmas profundidades descritas acima.

Em três conjuntos de cinco linhas (15 linhas), foram medidas altura e dap de 20 árvores em cada linha e a resistência do solo com penetrômetro - Soil Control 60, até a profundidade de 60 cm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de produção de eucalipto, nos dois locais, de acordo com as três classes de linhas de plantio estão na Tabela 1. Houve diferença significativa de volume de madeira entre as três classes de linha de colheita, com diferenças de até dois terços a menos nas linhas com tráfego na produção. Nota-se um comportamento diferenciado, de altura e dap com relação a volume, para solo arenoso. No solo argiloso, a amplitude de variação de produtividade entre as diferentes linhas de tráfego foi menor e o comportamento é idêntico para todos os parâmetros considerados: altura, dap e volume.

Observa-se na Tabela 2 que os valores de densidade do solo do LE argiloso são bem menores do que os de textura arenosa, principalmente devido às texturas diferentes, na primeira de solos argilosos, enquanto na segunda há predominância de areia. No entanto, a amplitude de variação entre o mais e o menos compactado nos dois locais é exatamente a mesma - $0,26 \text{ Mg/m}^3$. O coeficiente de variação nas análises realizadas foram sempre da ordem de 5 a 7 %, muito baixos, o que permitiu que pequenas diferenças fossem significativas. Pode-se afirmar que há uma compactação do solo causada pela passagem de máquinas na colheita de uma floresta e que esta alteração se aprofunda até no máximo 30 cm no solo para o solo arenoso e profundidades abaixo de 30 cm para solo argiloso.

Conforme se observa na Tabela 2, não há diferença entre as densidades do solo dos dois solos, na profundidade de 0 a 10 cm. Três hipóteses podem ser levantadas: a. o processo de secagem/umedecimento do solo auxilia na recuperação da sua estrutura, mais rapidamente quanto mais freqüente estas alternâncias; b. o teor de matéria orgânica sempre é maior na superfície do solo e durante os sete anos de cultivo do eucalipto muita matéria orgânica foi adicionada ao solo; e, c. a obtenção de amostras indeformadas na superfície do solo é sempre mais difícil, principalmente, quando se trata de solo bas-

tante arenoso. Mas não deixa de ser surpreendente, uma vez que foi a camada de solo exposta diretamente ao contato com as máquinas de colheita utilizadas. Por outro lado, nas camadas subsuperficiais, as alternâncias no teor de umidade do solo são menos freqüentes e menos intensas; como também é menor o teor de matéria orgânica no solo que permitisse uma recuperação da estrutura do solo.

Os valores de resistência do solo à penetração (Figura 1) mostram uma maior semelhança entre os tratamentos na camada superficial do solo, principalmente na Fazenda G15A, solo de textura arenosa. Também o ponto de máxima compactação do solo ocorre a profundidades distintas nos dois locais, enquanto no solo argiloso se situa na camada de 10 a 20 cm, no solo arenoso este ocorre na camada de 20 a 30 cm. Concordando também com os valores de densidade do solo mostrados na Tabela 2.

Observando-se as duas figuras (1), pode-se concluir que o penetrômetro usado não seria sensível o suficiente para avaliar a diferença entre os tratamentos linha de corte e de galhada, principalmente quanto mais se aprofunda no solo. Também neste caso, os valores são maiores em solo arenoso (Figura 1) e a amplitude de variação dos valores de resistência do solo, maior neste.

Com o intuito de usar um número maior de dados para um estudo de regressão linear entre as variáveis densidade do solo, resistência do solo ao penetrômetro e produção em volume de madeira, estas comparações foram feitas para cinco linhas, sem agrupá-las de acordo com o tráfego de máquinas de colheita. Mostraram boa correlação a densidade do solo e a resistência do solo à penetração, como mostra a tabela 3. No entanto, na correlação com o volume de madeira de eucalipto medido aos sete anos, a densidade do solo mostrou valores de r^2 muito melhores, principalmente na camada de 10 a 20 cm de profundidade do solo. Observa-se que a avaliação da compactação do solo com o penetrômetro mostrou-se melhor na superfície do solo, inexistindo praticamente nas maiores profundidades, talvez por não ter tido sensibilidade sufici-

ente para separar as linhas de corte e galhada.

Na figura 3, fica mais fácil perceber que as amplitudes de variação entre as diferentes linhas de tráfego (corte e galhada) são maiores em densidade do solo do que em resistência do solo. Também, pode-se perceber o porquê do alto grau de correlação entre os valores de densidade e resistência do solo, nas três profundidades o ordenamento por grandeza é muito semelhante. Devido a facilidade na obtenção dos dados de resistência do solo pelo uso do penetrômetro, um maior número de amostragens possa contribuir para um melhor desempenho destes numa correlação com produção.

CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos, é possível concluir que:

- a. as operações de colheita de um povoamento de eucalipto causam compactação do solo, que persiste na área de rebrota até a próxima colheita;
- b. a compactação do solo é mais observada até a profundidade de 30 cm, sendo que a camada superficial de 0 a 10 cm recupera parcialmente a estrutura com o tempo, mesmo em solos de textura diferentes;
- c. o ponto de máxima compactação, ocorre em solo argiloso na camada de 10 a 20 cm, e em solo arenoso, na camada de 20 a 30 cm;
- d. obteve-se um coeficiente de correlação entre a densidade do solo e a resistência do solo de 0,84 para um solo arenoso e 0,68, para um solo argiloso. Estes índices não foram melhores pela dificuldade do penetrômetro obter melhores valores a maiores profundidades, principalmente para as linhas de corte e galhada.
- e. a densidade do solo apresentou coeficiente decorrelação de 0,86 com volume de madeira, considerando-se a profundidade de 10 a 20 cm, em solo arenoso; e de 0,77, para a profundidade de 20 a 30 cm, em solo argiloso.
- f. o volume de madeira em área de rebrota é afetado pela compactação causada pela máquinas de colheita, chegando a reduções de até dois terços nas linhas com maiores compactações do solo.

LITERATURA CITADA

- GENT Jr, J.A.; BALLARD, R.; HASSAN, A.E. & CASSEL, D.K. Impact of harvesting and site preparation on physical properties of Piedmont Forest soils. *Soil Si. Soc. Am. J.*, 48(1): 173 - 177. 1984.
- JAKOBSEN, B.F. & GREACEN, E.L. Compaction of sandy forest soils by fowarder operations. *Soil and Tillage Res.*, 5(1): 55 - 70. 1985.
- LACEY, S.T.; RYAN, P.J.; HUANG, J. & WEISS, D.J. Soil physical property change from forest harvesting in New South Wales. West Pennant Hills-AU, State Forest of NSW, 1994. 81 pp. (Research Paper, 25).
- MATTHIES, D.; WEIXLER, H. & HESS, U. Structural changes in forest soils caused by vehicle travel. *AF2 Der Wald*, 50(2): 1281 - 1221. 1995.
- RAB, M.A. Changes in physical properties of a soil associated with logging of *E. regnans* forest in Southern Australia. *For. Eco. Manag.*, 70(1/3): 215 - 229. 1994.
- RAB, M.A. Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the *E. regnans* forest of Southern Australia. *Forest Ecology and Management*, 84(1/3): 159 - 176. 1996.
- SANDS, R.; GREACEN, E.L. & GERARD, C.J. Compaction of sandy soils in radiata pine forests: I. A penetrometer study. *Australian J of Soil Res.*, 17(1): 101 - 113. 1979.
- SHETRON, S.G.; STUROS, J.A.; PADLEY, E. & TRETTIN, C. Forest soil compaction: effect of multiple passes and loadings on wheel track surface soil bulk density. *Nothern J. Applied For.*, 5(2): 120 - 123. 1988.
- WARKOTSCH, P.W., HUYSSTEEN, L van, & OLSEN, G.J. Identification and quantification of soil compaction due to various harvesting methods - a case study. *South African For. J.*, 170: 7 - 15. 1994.

TABELA 1. Dados de produtividade de Eucalipto spp. em dois locais, por linha de intensidades de tráfego na colheita mecanizada, arenosa de 6 linhas, 1997.

LOCAL	LINHA	ALTURA	DIÂMETRO	VOLUME
		m	cm	m ³
LE - arenoso	galhada	17,1 a	11,9 a	531,7 a
	corte	16,0 a	10,7 a	350,1 b
	tráfego	14,0 b	8,7 b	221,4 c
LE - argiloso	galhada	20,7 a	13,1 a	734,7 a
	tráfego	19,6 ab	11,9 ab	605,3 ab
	corte	18,8 b	11,3 b	489,3 b

TABELA 2. Densidade do solo a 50 cm da linha de plantio de acordo com a intensidade de tráfego na colheita mecanizada, em três profundidades e dois solos, 1997.

PROF.	0 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 30 cm	
LINHA	DENSIDADE DO SOLO	LINHA	DENSIDADE DO SOLO	LINHA	DENSIDADE DO SOLO	
	Mg/m ³		Mg/m ³		Mg/m ³	
LE argiloso						
Tráfego	1,125 a	Tráfego	1,280 a	Tráfego	1,215 a	a
Corte	1,104 a	Corte	1,106 b	Corte	1,019 b	b
Galhada	1,068 a	Galhada	1,095 b	Galhada	1,110 b	b
Areia Quartzosa						
Tráfego	1,346 a	Tráfego	1,601 a	Tráfego	1,666 a	a
Corte	1,385 a	Corte	1,584 ab	Corte	1,598 ab	ab
Galhada	1,352 a	Galhada	1,495 b	Galhada	1,553 b	b

Obs.: Letras diferentes mostram diferenças significantes entre tratamentos pelo teste de Tukey 5%.

TABELA 3. Coeficiente de correlação entre variáveis resistência do solo, densidade do solo e volume de madeira, segundo os valores obtidos em cinco linhas de colheita, em dois solos e três profundidades, 1997.

PROFUNDIDADE	VARIÁVEL	Densidade do solo	Volume de madeira	Altura	DAP
cm		r ²			
Areia Quartzosa					
Todas	Resist.do solo	0,842			
0 a 10	Resist.do solo		0,228	0,184	0,246
	Dens.do solo		0,071	0,013	0,012
10 a 20	Resist.do solo		0,288	0,409	0,317
	Dens.do solo		0,857	0,736	0,831
20 a 30	Resist.do solo		0,330	0,530	0,380
	Dens.do solo		0,608	0,772	0,789
LE argiloso					
Todas	Resist.do solo	0,677			
0 a 10	Resist.do solo		0,573	0,465	0,416
	Dens.do solo		0,006	0,033	0,004
10 a 20	Resist.do solo		0,671	0,725	0,623
	Dens.do solo		0,722	0,733	0,641
20 a 30	Resist.do solo		0,933	0,709	0,813
	Dens.do solo		0,770	0,711	0,752

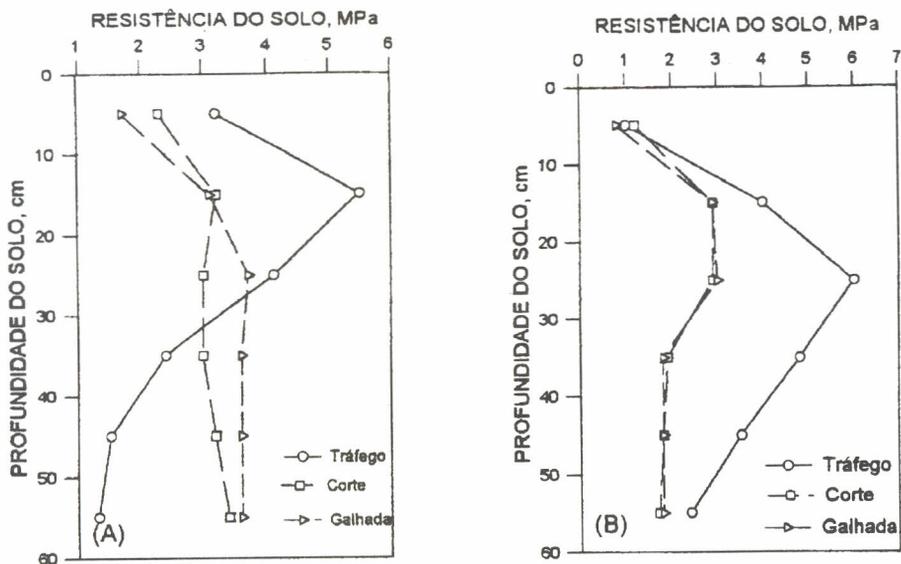


FIGURA 1. Distribuição da resistência do solo à penetração no perfil do solo, por linha de tráfego (A) LE argiloso e (B) Areia Quartzosa.

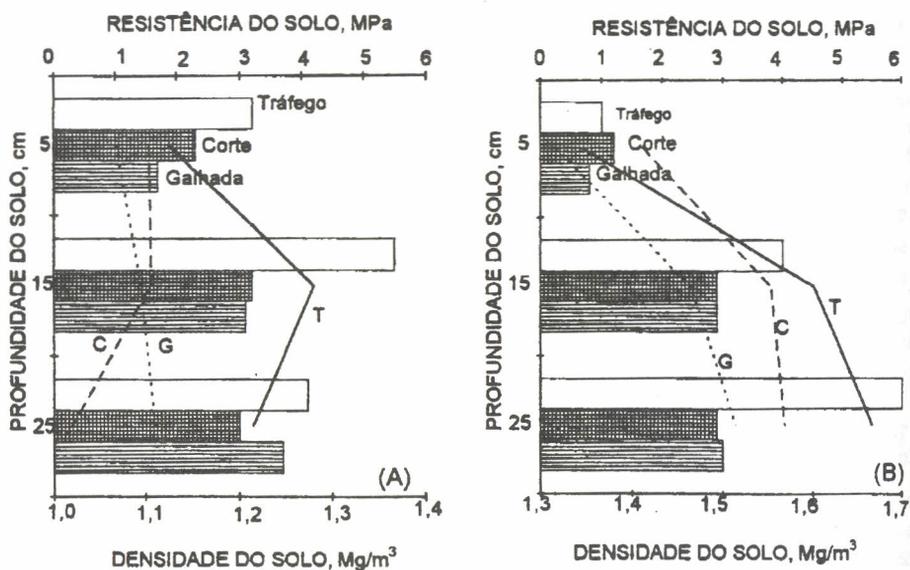


FIGURA 2. Correlação entre resistência e densidade do solo, em três profundidades e pro linha de tráfego, (A) LE argiloso e (B) Areia Quartzosa.