

## Impacto do tráfego de máquinas de colheita florestal sobre a densidade e resistência à penetração de um Cambissolo Húmico

Sampietro, J. A.<sup>1</sup>; Reichert, J. M.<sup>1</sup>; Lopes, E. S.<sup>2</sup>; Pereira, A. L. N.<sup>2</sup>; Oliveira, D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, e-mail: [engsampietro@hotmail.com](mailto:engsampietro@hotmail.com).

Apresentador; [reichert@smail.ufsm.br](mailto:reichert@smail.ufsm.br)

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR, e-mail: [eslopes@pq.cnpq.br](mailto:eslopes@pq.cnpq.br);  
[nasserandre@hotmail.com](mailto:nasserandre@hotmail.com); [diegotst2007@yahoo.com.br](mailto:diegotst2007@yahoo.com.br)

### Resumo

A extensão da compactação sofrida pelo solo depende de vários fatores, no entanto, um dos fatores de maior influência é o número de passadas das máquinas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a extensão em que a densidade e a resistência à penetração de um Cambissolo Húmico são afetadas pelo tráfego de máquinas de colheita florestal em povoamentos de *Pinus taeda* L.. O estudo foi realizado em áreas particulares de uma empresa florestal no município de Dr. Pedrinho, SC. Foram estabelecidas parcelas amostrais, nas quais se realizaram simulações de tráfego, sendo analisados tratamentos em função de diferentes intensidades de tráfego das máquinas de colheita. Determinaram-se a densidade do solo (Ds) na posição de linha dos rodados das máquinas em cada tratamento, e a resistência à penetração (RP) nas posições: linha dos rodados (RD); entre rodados (ER); fora dos rodados a 25 cm de distância (FR25); fora dos rodados a 50 cm (FR50); fora dos rodados a 75 cm (FR75); e fora dos rodados a 100 cm (FR100). Os resultados mostraram que a compactação foi crescente conforme aumentou a intensidade de tráfego, sendo que grande parte desta ocorreu durante as primeiras passadas das máquinas de colheita da madeira. Além disso, o tráfego das máquinas causou alterações nos solos até 80 cm de profundidade e a 100 cm de distância da linha dos rodados.

### Introdução

A crescente mecanização da colheita florestal, trazendo aumento do tamanho, da potência e do tráfego das máquinas de colheita da madeira é a principal causa da deterioração física de solos florestais. Devido à elevada intensidade de tráfego durante as operações de corte e extração de madeira, os solos florestais são submetidos a tensões intensas, modificando importantes características estruturais, ocasionando, assim, o impedimento mecânico ao crescimento radicular, resultando em menor volume de solo explorado, menor absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, menor desenvolvimento das plantas.

As passadas repetidas das máquinas de colheita, principalmente na etapa de extração florestal, comprimem a massa do solo, resultando num aumento significativo da compactação do mesmo

(Bettinguer et al., 1994). Porém, o efeito do tráfego é maior nas primeiras passadas, sendo que o aumento da compactação e, em consequência, da densidade do solo está relacionado com o número de passadas, o teor de matéria orgânica e o tipo de máquinas e rodados utilizados (Seixas, 2000).

Dentre as propriedades importantes para o manejo e estudo da qualidade física dos solos, se destaca a resistência à penetração, uma vez que essa propriedade apresenta-se relacionada a diversos atributos do solo indicadores do nível de compactação e com o crescimento das plantas (Letey, 1985), sendo mais sensível que relações massa/volume na detecção de alterações no solo (Silva, 2003).

Portanto, o entendimento dos efeitos do tráfego sobre o solo, possibilita auxílio na tomada de decisão e no planejamento da colheita florestal visando à diminuição da compactação, possibilitando a sustentabilidade e melhoria na produção de madeira. Este trabalho objetivou avaliar a extensão em que a densidade e a resistência à penetração de um Cambissolo Húmico são afetadas pelo tráfego de máquinas de colheita de florestal em povoamentos de *Pinus taeda* L..

## Material e Métodos

O estudo foi realizado em áreas particulares, pertencentes à empresa Battistella Florestal, localizada no município de Dr. Pedrinho, SC. O clima da região, segundo Köppen, é classificado como mesotérmico úmido (Cfb). O solo da área foi classificado como um Cambissolo Húmico Aluminíco típico (CHa) de textura franco-argilo-arenosa, com horizonte A húmico e relevo de plano a suave ondulado, com teor médio de 244, 116 e 640 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente, e teor médio de carbono orgânico de 19,86 g dm<sup>-3</sup>.

O sistema de colheita estudado foi o de Árvores Inteiras (*Full-tree*), onde foi utilizado um trator florestal *Feller-buncher* (CAT 522), com peso operacional de 30,4 toneladas com rodados de esteiras, e um trator florestal *Skidder* (CAT 545) com peso operacional de 18,2 toneladas, tração 4 x 4 com rodados de pneus (pressão de inflação de 290 kPa) recobertos com semi-esteiras na parte dianteira.

Para o estudo, inicialmente foi realizada a remoção de toda a madeira da área de estudo sem haver a interferência de tráfego de máquinas, prosseguindo com a distribuição de dois blocos nos quais foram instaladas parcelas amostrais, de 5 m de largura por 40 m de comprimento, para cada tratamento analisado. Nas parcelas, foram realizadas simulações de intensidade de tráfego, nas quais as máquinas de colheita da madeira trafegaram com a mesma carga sobre a mesma trilha de passagem, sendo analisados os seguintes tratamentos: sem tráfego das máquinas (ST); 1 passada do “*Feller-buncher*” (FB); 1 passada do “*Feller-buncher*” + 1 passada do “*Skidder*” (FB + 1SD); 1 passada do “*Feller-buncher*” + 3 passadas do “*Skidder*” (FB + 3SD); 1 passada do “*Feller-buncher*” + 5 passadas do “*Skidder*” (FB + 5SD); 1 passada do “*Feller-buncher*” + 10 passadas do “*Skidder*” (FB + 10SD); 1 passada do “*Feller-buncher*” + 15 passadas do “*Skidder*” (FB + 15SD). Durante as simulações, o *Skidder* trafegou com uma carga de arraste média de 3,55 t, e a umidade gravimétrica média do solo era de 0,445 kg kg<sup>-1</sup>.

Para a determinação da densidade do solo (Ds) foram coletas de amostras indeformadas de solo

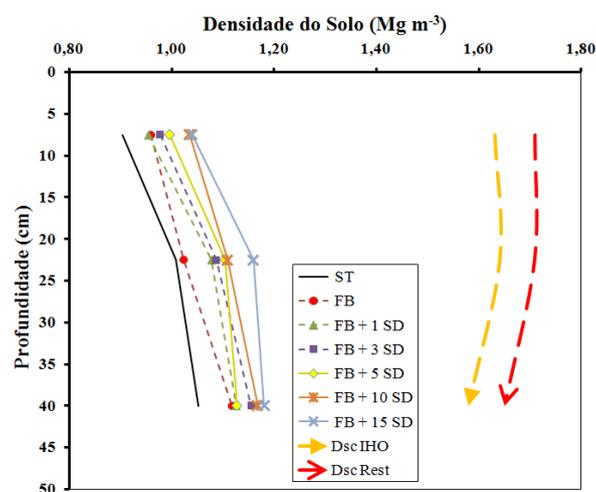
em anéis volumétricos de 100 cm<sup>3</sup> (5,0 cm de diâmetro x 5,1 cm de altura), em cada parcela amostral nas faixas de tráfego, em cinco pontos nas profundidades de 0 a 15, 15 a 30 e 30 a 50 cm.

A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada com uso de um penetrógrafo eletrônico digital (EIJKELKAMP 06.15.SA), equipado com uma ponta em forma de cone com ângulo de vértice de 60° e base de 1 cm<sup>2</sup> (11,28 mm de diâmetro nominal), sendo as leituras realizadas em diferentes posições em relação à linha de tráfego das máquinas em cinco pontos por tratamento por bloco, onde: linha dos rodados (RD); entre rodados (ER); fora dos rodados a 25 cm de distância (FR25); fora dos rodados a 50 cm (FR50); fora dos rodados a 75 cm (FR75); e fora dos rodados a 100 cm (FR100).

As análises estatísticas seguiram o padrão de experimento em blocos casualizados. Para a densidade do solo (Ds), a análise foi realizada para as camadas de 0 a 15, 15 a 30 e 30 a 50 cm, sendo os valores submetidos ao teste de Bartlett, procedendo-se com a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para a resistência à penetração (RP), a análise foi realizada a cada 10 cm até a profundidade de 80 cm, sendo os valores submetidos primeiramente ao teste de Bartlett, para verificação da homogeneidade das variâncias, e em seguida à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Ainda realizou-se a análise em fatorial para a resistência à penetração (RP) com os valores das diferentes posições por intensidade de tráfego, excluindo os valores ST. Essa análise teve objetivo de comparar o efeito das posições e das intensidades de tráfego, e verificar as interações entre os fatores, sendo que nesta análise as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

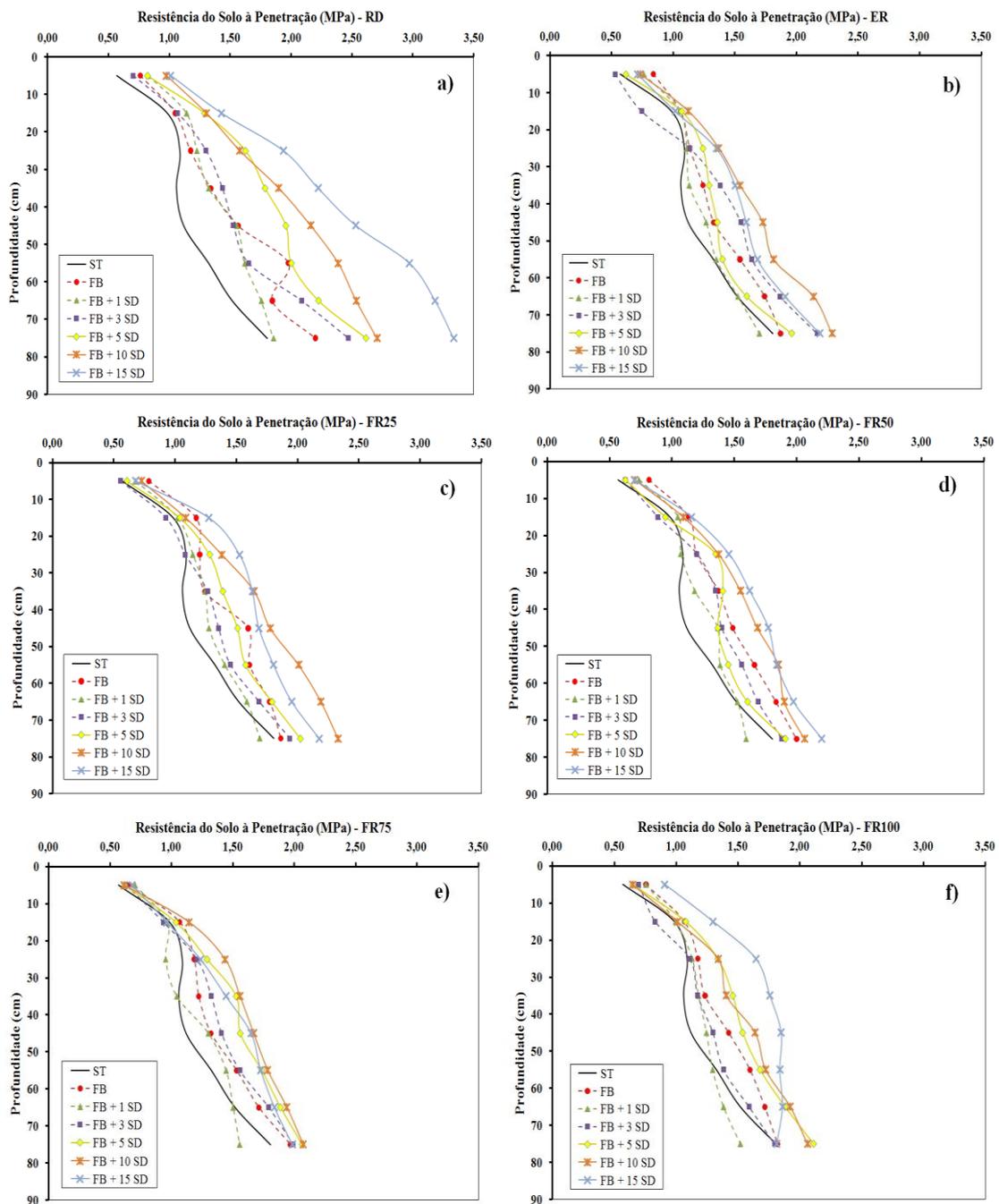
## Resultados e discussão

A Ds foi cada vez maior com o aumento do número de passadas (Figura 1), sendo que grande parte desse aumento ocorreu durante as primeiras passadas das máquinas de colheita da madeira.



**Figura 1.** Valores médios de Ds para os tratamentos; Linha laranja indica Ds<sub>c</sub> IHO: densidade do solo crítica e; Linha vermelha indica Ds<sub>c</sub> Rest: densidade do solo restritiva de acordo com equações propostas por Reichert et al. (2009).

Verifica-se que na condição de maior intensidade de tráfego (FB + 15SD) foi onde ocorrem os maiores incrementos em Ds, sendo que 67% desse incremento, já foi constatado na condição FB + 5SD. Isso mostra que as primeiras passadas foram, de fato, responsáveis por grande parte da compactação sofrida, como também verificaram Jorajuria e Draghi (2000), que relatam que 90% do incremento máximo medido para a Ds na camada superficial (0 a 30 cm) já foi produzido na primeira passada de um trator de porte leve.



**Figura 2.** Valores médios de RP para as posições e tratamentos: **a)** Linha dos rodados (RD); **b)** Entre rodados (ER); **c)** Fora dos rodados a 25 cm de distância (FR25); **d)** Fora dos rodados a 50 cm (FR50); **e)** Fora dos rodados a 75 cm (FR75); **f)** Fora dos rodados a 100 cm (FR100).

Ainda se pode notar que em nenhuma das intensidades de tráfego detectaram-se aumentos na Ds acima de 15%, sendo este o limite sugerido por Lacey e Ryan (2000). Ressalta-se também, observando os valores de Ds<sub>c</sub> IHO e Ds<sub>c</sub> Rest (Reichert et al, 2009), que estes limites ainda se encontram distantes.

Em relação à RP (Figura 2), as maiores alterações dessa propriedade ocorreram no intervalo de profundidade entre 30 a 70 cm, ou seja, não foram verificadas as maiores alterações nas camadas superficiais, podendo isso ser explicado devido ao cisalhamento do solo em superfície, havendo perdas de solo e formação de sulcos na superfície ocasionadas pela tração exercida pelos rodados das máquinas, resultando em maior degradação da estrutura do solo nesse intervalo.

Em todas as posições avaliadas, as intensidades de tráfego impostas aumentaram a RP, quando comparando à condição sem tráfego (ST). Entretanto, esse aumento foi acentuado na posição de linha dos rodados (RD), diminuindo conforme se distanciou dessa posição. De acordo com Reichert et al. (2010), as pressões aplicadas sobre a superfície do solo são distribuídas ao longo do perfil, em função das tensões e das deformações, em maior ou menor escala, de acordo com as características físicas do solo. Portanto destaca-se que o aumento do tráfego causou alterações no solo mesmo distante da linha de passagem das máquinas, contudo, o efeito é em menor escala, mostrando que a compactação afeta o solo mais em profundidade do que lateralmente.

Valores acima do que é considerado crítico ( $\geq 2$  MPa) (Greacen e Sands, 1980) ao desenvolvimento radicular das plantas, também são verificados, principalmente na posição RD (Figura 2).

A análise de variância em fatorial mostrou haver interação entre os tratamentos e as posições; tratamentos e profundidades; e posições e profundidades (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise de variância em fatorial e valores de RP (MPa) para interação tratamento x posição.

Fator de variação	G.L.	RP Valor F	Trat.	Posição						Média
				RD	ER	FR25	FR50	FR75	FR100	
Tratamento	5	78,58**	FB	1,49 (cA)	1,34 (bcA)	1,41 (bA)	1,44 (abA)	1,33 (bcA)	1,35 (bcA)	<b>1,39</b>
Posição	5	61,50**	FB+1SD	1,41 (cA)	1,24 (cAB)	1,26 (bAB)	1,24 (cAB)	1,18 (cB)	1,19 (cB)	<b>1,25</b>
Profundidade	7	417,83**	FB+3SD	1,53 (cA)	1,38 (bcAB)	1,28 (bB)	1,32 (bcB)	1,36 (abcAB)	1,23 (abB)	<b>1,35</b>
Blocos	1	0,56 ns	FB+5SD	1,79 (bA)	1,32 (bcB)	1,40 (bB)	1,33 (bcB)	1,46 (abB)	1,47 (abB)	<b>1,46</b>
Tratamento x Posição	25	6,33**	FB+10SD	1,94 (bA)	1,59 (aB)	1,64 (aB)	1,53 (aB)	1,53 (aB)	1,47 (abB)	<b>1,62</b>
Tratamento x Profundidade	35	3,30**	FB+15SD	2,33 (aA)	1,49 (abB)	1,59 (aB)	1,59 (aB)	1,44 (abB)	1,62 (aB)	<b>1,68</b>
Posição x Profundidade	35	2,00**	<b>Média</b>	<b>1,75</b>	<b>1,39</b>	<b>1,43</b>	<b>1,41</b>	<b>1,38</b>	<b>1,33</b>	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %; \*significativo a 5 %; \*\*significativo a 1 %; ns não significativo.

A interação entre a intensidade de tráfego e a posição foi significativa, pois, com o aumento do número de passadas das máquinas, a RP na linha dos rodados (RD) aumentou distintamente, porém, para as posições entre rodados e fora dos rodados, essa distinção acentuada não foi verificada, assim detectou-se essa diferença entre a posição RD com as outras posições, e entre os tratamentos.

## **Conclusões**

O tráfego das máquinas de colheita florestal causou alterações no solo até 100 cm de distância da trilha de passagem dos rodados, e até 80 cm de profundidade no perfil de solo, indicando que conforme se intensifica o tráfego, maior é a compactação do solo, mesmo distante da linha de passagem das máquinas, contudo, o efeito é em menor escala e, dessa forma, as propriedades do solo são mais afetadas em profundidade do que lateralmente no perfil.

## **Literatura Citada**

- BETTINGER, P. et al. Evaluating area in logging trails with geographic information system. American Society of Agricultural Engineers, v.37, p.1327-1330, 1994.
- GREACEN, E.L.; SANDS, R. Compaction of forest soils: a review. Australian Journal of Soil Research, v.18, p.163-189, 1980.
- JORAJURIA, D.; DRAGHI, L. Sobrecompactación del suelo agrícola. Parte I: Influencia diferencial del peso y del número de pasadas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, p.445- 452, 2000.
- LACEY, S.T.; RYAN, P.J. Cumulative management impacts on soil physical properties and early growth of *Pinus radiata*. Forest Ecology and Management, v.138, p.321-333, 2000.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. Advances in Soil Science, v.1, p.277-294, 1985.
- REICHERT, J.M. et al. Mecânica do Solo. In: JONG van LIER, Q. Física do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 29-102.
- REICHERT, J.M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. Soil and Tillage Research, v.102, p.242-254, 2009.
- SEIXAS, F. Compactação do solo devido à colheita de madeira. 2000. 75 p. Tese (Livre-docência) - ESALQ/USP, Piracicaba, SP.
- SILVA, V.R. da. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. 2003. 171p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria.