



Avaliação da qualidade estrutural do solo em colheita mecanizada (*harvester* e *forwarder*) de *Eucalyptus grandis*

Evaluation of soil structural quality in mechanized harvesting (harvester and forwarder) of Eucalyptus grandis

Carla Krulikowski Rodrigues¹, Eduardo da Silva Lopes¹, Marcelo Marques Lopes Müller²

¹ Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR 153, Km 7, s/n - Riozinho, Irati - PR, 84500-000, email: carlakr@gmail.com

² Universidade Estadual do Centro-Oeste, R. Simeão Varela de Sá, 03 - Vila Carli, Guarapuava - PR, 85040-080.

Recebido em: 25/07/2018

Aceito em: 02/12/2019

Resumo: A intensidade de tráfego de máquinas na colheita de madeira é variável ao longo do talhão (área), podendo apresentar efeitos negativos nos parâmetros físicos do solo. Neste contexto, objetivou-se avaliar a qualidade estrutural do solo na trilha de tráfego do *harvester* e *forwarder* na colheita de *Eucalyptus grandis*. O estudo foi realizado no Paraná, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, franco-argilo-arenoso. Os parâmetros físicos avaliados foram: densidade do solo (DS), porosidade total (PT) e resistência do solo à penetração (RSP), em 0,35 kg kg⁻¹ de umidade gravimétrica. Por meio de transectos com três repetições, os dados foram obtidos nas distâncias 25, 75, 125 e 175 m da trilha de tráfego das máquinas, que correspondeu a uma passada do *harvester* e, em seguida, por 20, 16, 10 e 6 passadas do *forwarder*, respectivamente, até a profundidade de 0,60 m do solo. Para comparar os efeitos das distâncias, os valores DS e PT, obtidos apenas na linha dos rodados, foram analisados pelo teste t-múltiplo ($\alpha = 0,05$), enquanto a RSP, obtida em sete pontos transversais a trilha de tráfego, foi avaliada na seção transversal do solo por análise geoestatística, com o programa GS+. As maiores intensidades de tráfego das máquinas nas distâncias de 25 e 75 m acarretaram em maiores alterações na qualidade estrutural do solo até a profundidade de 0,60 m, ao passo que, nas demais distâncias, as alterações ocorreram até a profundidade de 0,40 m. Tais resultados indicam a necessidade de preparo de solo diferenciado onde há maior intensidade de tráfego.

Palavras-chave: colheita de madeira, física do solo, variabilidade espacial

Abstract: Machine traffic intensity in the wood harvesting is variable along the field (area), with negative effects on the soil physical parameters. In this context, the aim was to evaluate the structural soil quality in harvester and forwarder traffic trail of *Eucalyptus grandis* harvesting. The study was carried out in Paraná, in Dystrophic Red Latosol (Oxisol), frank sandy clay. The physical parameters evaluated were: soil bulk density (DS), total porosity (PT), and soil penetration resistance (RSP), with 0.35 kg kg⁻¹ of gravimetric moisture. By means of transects, with three replicates, the data were obtained at distances 25, 75, 125, and 175 m of the machines traffic trail, corresponding to one pass of the harvester, and then 20, 16, 10, and 6 from the forwarder, respectively, until 0.60 m depth soil. In order to compare the distances effects, DS and PT values, obtained only in the rows line, were analyzed by the t-multiple test ($\alpha = 0.05$), while RSP obtained in seven transverse points at the traffic trail, was evaluated in the soil cross section by geostatistical analysis, with the GS+ software. The highest machine traffic intensities at distances of 25 and 75 m resulted in greatest changes in the structural soil quality until to the deeper layers (0.60 m), while at other distances, changes were up to 0.40 m deep. These results indicate need for differentiated soil preparation where there is greater traffic intensity.

Keywords: wood harvesting, soil physics, spatial variability



Introdução

A colheita de madeira em florestas plantadas é realizada por meio de sistemas mecanizados que trouxeram diversos avanços para o setor florestal, como: aumento da qualidade e produtividade; maior conforto e segurança aos operadores; e redução dos custos de produção (Pereira et al., 2015). Entretanto, como se trata de máquinas de grande porte, o tráfego pode acarretar problemas ambientais em relação à qualidade estrutural do solo, causando um processo contínuo de degradação e, conseqüentemente, comprometer a sustentabilidade dos recursos florestais (Bottinelli et al., 2014; Cambi et al., 2015).

No Brasil, o sistema de toras curtas (*cut-to-length*) é um dos principais empregados na colheita de madeira, caracterizado pelo processamento das árvores no local de abate, seguido pela extração das toras até a margem do talhão (Malinovski et al., 2014). Quando mecanizado, o sistema é composto pelos tratores florestais *harvester* e *forwarder*. O primeiro é responsável pelas etapas de abate, seguido do desgalhamento, traçamento e empilhamento das toras, ao passo que a segunda máquina executa a extração da madeira sob uma plataforma, com movimentos sistemáticos ao longo do talhão sobre a trilha do *harvester* e dos resíduos gerados na operação de corte (Szymczak et al., 2014).

Durante a extração da madeira, o *forwarder* realiza viagens vazio, seguidas de viagens com carga, apresentando intensidade de tráfego decrescente ao longo do talhão (Silva et al., 2011; Carmo et al., 2015). Desta maneira, pode-se afirmar que a intensidade de tráfego das máquinas na colheita de madeira é maior em áreas próximas às margens das estradas, o que pode ocasionar em impactos negativos nas camadas mais profundas do solo (Rodrigues et al., 2015). Além disso, as trilhas de tráfego das máquinas encontram-se entre as linhas das árvores anteriormente colhidas (entre os tocos), referente ao local de reforma e plantio da próxima rotação.

No passado, os empreendimentos florestais realizavam o preparo do solo por meio de métodos convencionais, seguido da introdução da grade *bedding*, que possibilitava a formação de camalhões em nível para evitar a erosão e o plantio entre os tocos, portanto, não existia preocupação com a relação solo-planta entre as linhas do plantio (Simões et al., 1981). Entretanto, com a introdução do cultivo mínimo através da realização de subsolagem entre os tocos remanescentes do ciclo anterior, torna-se necessário o conhecimento da qualidade estrutural

do solo após o tráfego das máquinas de colheita neste local.

Logo, informações sobre a variabilidade espacial das alterações estruturais do solo ao longo da trilha de tráfego das máquinas são importantes para subsidiar a tomada de decisão em relação ao preparo do solo (Rodrigues e Lopes, 2018). Quando a compactação se limita às camadas mais superficiais do solo, a subsolagem pode promover a redução da resistência do solo à penetração, com maiores efeitos nestas camadas (Assirelli et al., 2016; Gonçalves et al., 2017). Contudo, quando a compactação do solo ocorre em maior profundidade, torna-se necessária a subsolagem nestas camadas, o que eleva os gastos energéticos e os custos operacionais (Machado et al., 2015).

Dentro deste contexto, objetivou-se neste estudo avaliar a qualidade estrutural do solo na trilha de tráfego do *harvester* e *forwarder* na colheita de *Eucalyptus grandis*, a fim de subsidiar o planejamento das operações silviculturais posteriores a colheita de madeira.

Material e Métodos

Esta pesquisa foi realizada em um empreendimento florestal localizado no município de Telêmaco Borba, estado do Paraná, entre as coordenadas geográficas de latitude 24°19'37" S e longitude 50°36'58" W e altitude média de 760 m. O clima na região de estudo, segundo Köppen, está situado entre Cfa e Cfb, apresentando valores médios anuais de temperatura entre 18° C a 22° C, umidade relativa de 70 e 75% e precipitação pluviométrica entre 1.400 a 1.600 mm (Alvares et al., 2013).

O relevo da área de estudo foi caracterizado como suavemente ondulado, com declividade média de 3 a 8%, enquanto o solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, franco-argilo-arenoso (Santos et al., 2018). Para caracterização do solo, a granulometria foi determinada pela metodologia descrita por Donagemma et al. (2017) e o carbono orgânico pelo método de Walkley-Black especificado por Pavan et al. (1992), ao passo que a umidade gravimétrica foi determinada pela metodologia apresentada por Viana et al. (2017), que corresponde ao valor na análise de resistência do solo à penetração.

O povoamento florestal foi composto por *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden, com idade de sete anos, em espaçamento de 3 m x 2 m, apresentando número de árvores médio por hectare de 1.217, diâmetro médio de 0,175 m e volume médio individual do fuste com casca de

0,30 m³, sendo adotado o regime de manejo de corte raso e o sistema de colheita da madeira de toras curtas (*cut-to-length*).

O sistema de colheita foi composto por um *harvester* na operação de corte e um *forwarder* na extração da madeira na forma de baldeio. O *harvester* apresentou motor com potência de 157 HP, peso operacional de 26,4 t e equipado com rodados de esteira; enquanto o *forwarder* dispôs de motor com potência de 157 HP, peso operacional de 15,8 t, rodados de pneus com tração 8x8 e capacidade de carga de 14 t.

As amostras foram coletadas ao longo da trilha de tráfego das máquinas nas distâncias de 25, 75, 125 e 175 m (Figura 1a), correspondendo a uma passada do *harvester* e, em seguida, por uma média de 20, 16, 10 e 6 passadas do *forwarder*. Para tal, neste estudo foram consideradas as passadas da máquina vazia e carregada.

As amostras de estrutura preservada de solo foram coletadas na linha de rodados das máquinas

nas profundidades de 0 a 0,10; 0,11 a 0,20; 0,21 a 0,40 e 0,41 a 0,60 m (Figura 1b). Para isso, utilizou-se um amostrador de solo e anéis volumétricos com volume médio de 86,35 cm³. Em seguida, as amostras de solo foram enviadas para laboratório para determinação da densidade e porosidade total, de acordo com as metodologias propostas por Almeida et al. (2017a) e Almeida et al. (2017b), respectivamente.

A resistência do solo à penetração (RSP) foi determinada por meio de penetrômetro eletrônico equipado com ponteira cônica em ângulo de vértice de 60°, base de 1 cm² (11,28 mm de diâmetro nominal) e velocidade de penetração máxima de 2 cm s⁻¹, conforme recomendações do fabricante (EIJKELKAMP, 2013). A determinação da RSP foi realizada em sete pontos amostrais nas diferentes posições transversais: rodados, entre rodados e fora dos rodados, localizados nas distâncias mencionadas anteriormente (Figura 1c).

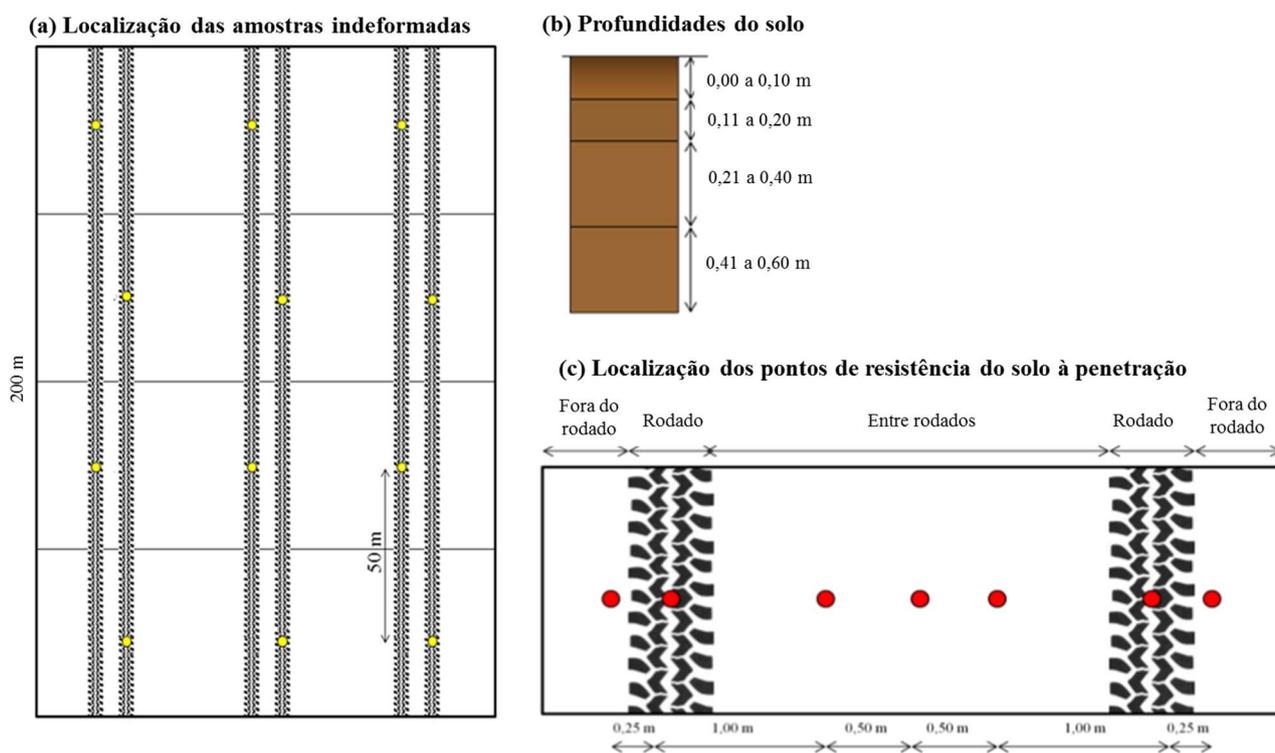


Figura 1. Diagrama esquemático da localização das amostras indeformadas (a); profundidades do solo (b); e localização dos pontos de resistência do solo à penetração

O experimento foi conduzido em transectos formados por faixas dispostas ao longo da trilha de tráfego das máquinas de colheita da madeira com três repetições. Os valores de densidade e porosidade total do solo foram submetidos ao teste de normalidade de *Kolmogorov-Smirnov*, seguido do teste de *Bartlett* para a verificação da homogeneidade das variâncias, ao passo que as médias foram comparadas entre distância pelo

teste t-múltiplo ($\alpha = 0,05$). Os valores de resistência do solo à penetração foram avaliados por meio de seções transversais do solo nas quatro distâncias da trilha de tráfego por meio de análise geoestatística, visando a obtenção de mapas de superfície 2D, com base nos valores estimados por krigagem com o auxílio do programa GS+.

Resultados

O solo avaliado apresentou as quantidades médias de areia, silte e argila de 672, 62 e 266 g kg⁻¹, respectivamente; carbono orgânico de 10,5 g kg⁻¹; e umidade gravimétrica de 0,35 kg kg⁻¹, que correspondeu ao valor obtido durante a análise de resistência do solo à penetração.

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios de densidade do solo ao longo da trilha de tráfego do *harvester* e *forwarder*. Partindo das premissas de que os valores obtidos apresentaram normalidade e homogeneidade das variâncias,

nota-se que os maiores valores de densidade se encontram nas camadas superficiais do solo, de 0 a 0,10 e de 0,11 a 0,20 m, com 1,91 Mg m⁻³ e 1,89 Mg m⁻³, respectivamente, sem diferença significativa ao longo da trilha de tráfego das máquinas pelo teste t-múltiplo ($\alpha = 0,05$). Para as camadas de 0,21 a 0,40 e de 0,41 a 0,60 m, houve diferença estatística significativa, com maiores valores de densidade do solo nas distâncias 25 e 75 m com maior intensidade de tráfego do *forwarder*.

Tabela 1. Densidade do solo nas diferentes distâncias ao longo da trilha de tráfego das máquinas

Prof. do solo (m)	Distância (m)				Média
	25	75	125	175	
	DS (Mg m ⁻³)				
0 - 0,10	1,95 a	1,92 a	1,89 a	1,89 a	1,91
0,11 - 0,20	1,89 a	1,88 a	1,90 a	1,87 a	1,89
0,21 - 0,40	1,87 a	1,88 a	1,83 ab	1,80 b	1,85
0,41 - 0,60	1,87 a	1,89 a	1,84 ab	1,77 b	1,85

Em que: Médias seguidas por letras distintas indicam diferenças significativas nas distâncias da trilha de tráfego (linhas) pelo teste t-múltiplo ($\alpha = 0,05$); e DS = densidade do solo

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios de porosidade total ao longo das trilhas de tráfego. Considerando a relação inversa entre a porosidade total e a densidade do solo, nota-se que o tráfego das máquinas proporcionou redução da porosidade total nas camadas superficiais do solo, com valores médios de 0,354 a 0,362 m³ m⁻³.

Na Figura 2 são apresentadas as seções transversais da resistência do solo à penetração

nas diferentes distâncias ao longo da trilha de tráfego das máquinas de colheita da madeira. Observa-se que, nas distâncias onde houve maior intensidade de tráfego, encontram-se os maiores valores de RSP, principalmente abaixo da linha dos rodados das máquinas e nas camadas superficiais do solo.

Tabela 2. Porosidade total do solo nas diferentes distâncias ao longo da trilha de tráfego das máquinas

Prof. do solo (m)	Classes de distância (m)				Média
	25	75	125	175	
	PT (m ³ m ⁻³)				
0 - 0,10	0,343 a	0,351 a	0,361 a	0,361 a	0,354
0,11 - 0,20	0,358 a	0,362 a	0,356 a	0,371 a	0,362
0,21 - 0,40	0,364 ab	0,360 b	0,377 ab	0,389 a	0,373
0,41 - 0,60	0,363 b	0,357 b	0,372 ab	0,398 a	0,373

Em que: Médias seguidas por letras distintas indicam diferenças significativas nas distâncias da trilha de tráfego (linhas) pelo teste t-múltiplo ($\alpha = 0,05$); e PT = porosidade total do solo

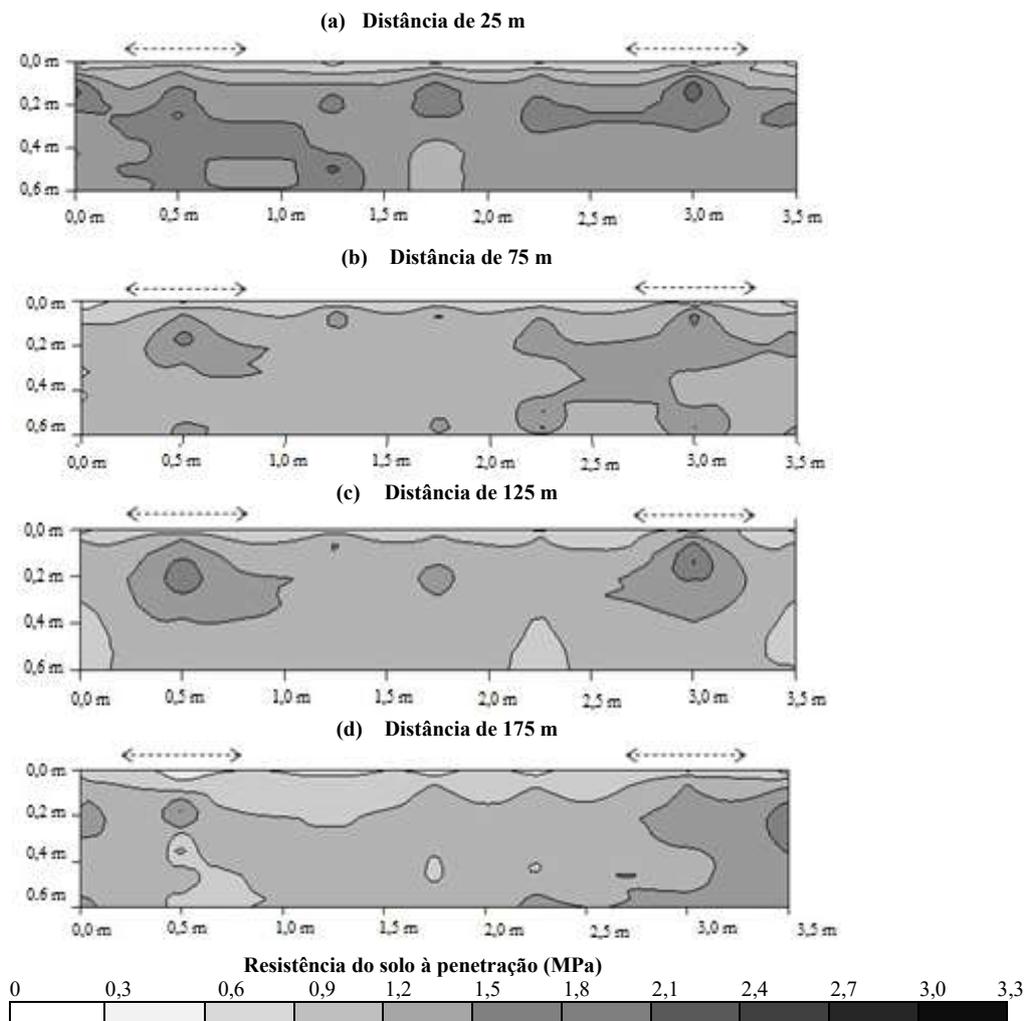


Figura 2. Seção transversal da resistência do solo à penetração ao longo da trilha de tráfego das máquinas. Em que: (a) distância de 25 m, (b) distância de 75 m, (c) distância de 125 m, e (d) distância de 175 m; a legenda indica os valores de resistência à penetração e as setas indicam a posição da trilha de passagem dos rodados

Discussão

As maiores alterações da qualidade estrutural do solo ocorreram nas camadas superficiais (0 a 0,10 e 0,11 a 0,20 m), mostrando que não há diferença significativa com o aumento da intensidade de tráfego. Tal comportamento também foi observado por outros autores, como Sampietro et al. (2011), que, ao avaliarem os efeitos da intensidade de tráfego, verificaram que as estruturas do solo são alteradas após as primeiras passadas das máquinas de colheita da madeira.

Por outro lado, a maior intensidade de tráfego proporcionou, por meio do acúmulo de cargas aplicadas sobre a superfície do solo, a distribuição dos efeitos na qualidade estrutural do solo nas camadas mais profundas, bem como propagou-se o efeito no sentido horizontal do perfil do solo na posição entre rodados das máquinas. Este comportamento gerado ao longo da trilha de tráfego das máquinas de colheita de

madeira indica a necessidade de preparo de solo diferenciado onde há maior intensidade de tráfego, pois a qualidade estrutural foi afetada principalmente nas distâncias 25 e 75 m até a profundidade de 0,60 m.

Os resultados obtidos estão de acordo com Lima et al. (2008), que, ao avaliarem a seção transversal da resistência do solo à penetração após a colheita de madeira no sistema de árvores inteiras, verificaram que as maiores alterações desta variável ocorreram abaixo da linha de rodados do tráfego das máquinas. Tal fato se deve à maior pressão que os rodados exercem sobre o solo, ocasionando a diminuição da porosidade do solo e, conseqüentemente, aumento da densidade e da resistência do solo à penetração.

Outros trabalhos, como Ampoorter et al. (2010) e Sampietro e Lopes (2016), também avaliaram a qualidade estrutural do solo de maneira espacializada ao longo do seção transversal do solo, onde o primeiro avaliou a

seção de diferentes tipos de solo após o tráfego de um trator agrícola e de um *Grapple-Skidder*, enquanto o segundo verificou a seção do solo após o tráfego de um *feller-buncher* e um *skidder* com diferentes intensidades de tráfego. Estes autores relataram resultados semelhantes em relação ao comportamento da estrutura física do solo abaixo da linha dos rodados, com efeitos mais profundos nos pontos com maior intensidade de tráfego das máquinas.

Evidenciou-se neste estudo o efeito da intensidade de tráfego das máquinas ao longo do talhão, com maior impacto nas propriedades físicas do solo onde normalmente ocorre maior concentração de tráfego, principalmente das máquinas de extração da madeira. Tais resultados demonstram a necessidade de melhorias no planejamento das operações de preparo do solo, podendo, por exemplo, ser implantado o conceito da silvicultura de precisão, onde a partir de mapas pode-se propor o preparo diferenciado do solo, com profundidade de até 0,60 m nas distâncias de 0 a 100 m da margem do talhão, bem como na profundidade de até 0,40 m no interior do talhão, com conseqüente aumento de produtividade e redução de custos.

Conclusões

As maiores intensidades de tráfego das máquinas nas distâncias de 25 e 75 m acarretaram em alterações na qualidade estrutural do solo até as camadas mais profundas (0,60 m), ao passo que, nas distâncias de 125 e 175 m, as alterações ocorreram até a profundidade de 0,40 m. Desta maneira, pode-se afirmar que tais resultados indicam a necessidade de preparo de solo diferenciado onde há maior intensidade de tráfego. Logo, o conhecimento da variabilidade estrutural do solo em povoamento florestal é importante para auxiliar os gestores na execução eficiente do preparo do solo, com potencial para a redução dos custos de produção.

Agradecimentos

Este estudo foi realizado com o apoio da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e UNICENTRO (Universidade Estadual do Centro-Oeste).

Referências

ALMEIDA, B. G.; FREITAS, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K. Porosidade. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de**

Análise de Solo, 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017b. 82–94 p.

ALMEIDA, B. G.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017a. 65–75 p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, 2013.

AMPOORTER, E.; VAN NEVEL, L.; DE VOS, B.; HERMYC, M.; VERHEYENA, K. Assessing the effects of initial soil characteristics, machine mass and traffic intensity on forest soil compaction. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 10, p. 1664–1676, 2010.

ASSIRELLI, A.; SANTANGELO, E.; SPINELLI, R.; PARI, L. A Single-pass Reduced Tillage Technique for the Establishment of Short-Rotation Poplar (*Populus* spp.) Plantations. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 37, n. 1, p. 61–69, 2016.

BOTTINELLI, N.; HALLAIRE, V.; GOUTAL, N.; BONNAUD, P.; RANGER, J. Impact of heavy traffic on soil macroporosity of two silty forest soils: Initial effect and short-term recovery. **Geoderma**, v. 217–218, p. 10–17, 2014.

CAMBI, M.; CERTINI, G.; NERI, F.; MARCHI, E. The impact of heavy traffic on forest soils: A review. **Forest Ecology and Management**, v. 338, p. 124–138, 2015.

CARMO, F. C. A.; FIEDLER, N. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. Otimização do uso do trator florestal *forwarder* em função da produtividade, custos e capacidade de carga. **Revista Árvore**, v. 39, n. 3, p. 561–566, 2015.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. Análise granulométrica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 95–116 p.

- EIJKELKAMP. **Penetrologger: Operating instructions**. Giesbeek: EIJKELKAMP, 2013. 40 p.
- GONÇALVES, S. B.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C.; POLIZELI, K. M. V. C.; STAHL, J. Resistência do solo a penetração em diferentes profundidades de subsolagem. **Nativa**, v. 5, n. 3, p. 224–229, 2017.
- LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, P. C.; OLIVEIRA, R. B.; XAVIER, A. C. Métodos geoestatísticos no estudo da resistência do solo à penetração em trilha de tráfego de tratores na colheita de madeira. **Árvore**, v. 32, n. 5, p. 931–938, 2008.
- MACHADO, T. M.; LANÇAS, K. P.; FIORESE, D. A.; FERNANDES, B. B.; TESTA, J. V. P. Estimativa de gasto energético da operação de subsolagem em profundidades variáveis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1121–1125, 2015.
- MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. Viçosa: UFV, 2014. 543 p.
- PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR; 1992. 38 p.
- PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. S.; DIAS, N. A. Análise técnica e de custo do *feller buncher* e *skidder* na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 981–989, 2015.
- RODRIGUES, C. K.; LOPES, E. S. Análise espacial da compactação do solo causada pelo sistema de colheita de madeira de árvores inteiras. **Revista Ceres**, v. 65, n. 3, p. 227–233, 2018.
- RODRIGUES, C. K.; LOPES, E. S.; MÜLLER, M. M. L.; GENÚ, A. M. Variabilidade espacial da compactação de um solo submetido ao tráfego de *harvester* e *forwarder*. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 387–394, 2015.
- SAMPIETRO, J. A.; LOPES, E. S. Compactação de um cambissolo causada por máquinas de colheita florestal espacializada com geoestatística. **Floresta**, v. 46, n. 3, p. 307–314, 2016.
- SAMPIETRO, J. A.; LOPES, E. S. Compactação de um Cambissolo e Neossolo submetidos a diferentes intensidades de tráfego de *Feller Buncher* e *Skidder*. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 90, p. 265–272, 2011.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., Brasília, DF: Embrapa, 2018. 353 p.
- SILVA, A. R.; DIAS JÚNIOR, 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**, v. 35, n. 3, p. 547–554, 2011.
- SIMÕES, J. W. **Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília: IBDF, 1981. 131 p.
- SZYMCZAK, D. A.; BRUN, E. J.; REINERT, D. J.; FRIGOTTO, T.; MAZZALIRA, C. C.; LÚCIO, A. D.; MARAFIGA, J. Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de *Pinus taeda* L. na região sudoeste do Paraná. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 641–648, 2014.
- VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Umidade atual. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 29–31.