



## Resistência do solo a penetração em diferentes profundidades de subsolagem

Saulo Boldrini GONÇALVES<sup>1</sup>, Eduardo Silva LOPES<sup>2</sup>, Nilton Cesar FIEDLER<sup>1\*</sup>,  
Karina Maria Vieira CAVALIERI-POLIZELI<sup>3</sup>, James STAHL<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Irati, Paraná, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

<sup>4</sup> Kablin S.A., Telemarco Borba, Paraná, Brasil.

\*E-mail: [fiedler@pq.cnpq.br](mailto:fiedler@pq.cnpq.br)

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

**RESUMO:** A subsolagem é uma operação de preparo reduzido do solo que oferece condições para o melhor desenvolvimento das plantas, podendo ainda promover modificações nos atributos físicos, como densidade e resistência do solo à penetração. Objetivou-se neste trabalho avaliar as alterações na resistência do solo à penetração de raízes em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa submetido a diferentes profundidades de subsolagem para a implantação de povoamentos florestais. O preparo do solo foi realizado por um trator de esteiras equipado com subsolador de arrasto mono-haste e lâmina frontal tipo V-shear, por meio da subsolagem nas profundidades (tratamentos) de 40 e 50 cm (S-40 e S-50). Foi avaliada a resistência mecânica do solo à penetração (RP) em duas etapas: antes da subsolagem (AS) e após a subsolagem (OS), por meio de um penetrômetro de impacto. Os resultados mostraram que a RP apresentou valores acima de 2 MPa em ambos os tratamentos nas camadas superficiais (0 a 40 cm) antes da subsolagem. Após a realização da subsolagem, os valores de RP apresentaram diferença significativa pelo teste de “t” ao nível de 5%. Os valores de RP diminuíram em todas as profundidades, com redução de 20% até a camada de 40 cm para ambos os tratamentos, mostrando a importância da subsolagem na quebra das camadas compactadas do solo.

**Palabras clave:** preparo de solo florestal, compactação, penetrômetro.

### Soil resistance to penetration in depths of different subsoiling

**ABSTRACT:** The subsoiling is a reduced soil preparation operation that provides conditions for the better development of the plants, and can also promote modifications in the physical attributes, such as density and soil resistance to penetration. The objective of this work was to evaluate the changes in soil resistance to root penetration in a clayey Latossolo with a clayey texture submitted to different depths of subsoiling for the implantation of forest stands. Soil preparation by a track tractor equipped with a mono-stem trailing subsoiler and V-shear type front blade, performing subsoiling at the depths (treatments) of 40 and 50 cm (S-40 and S-50). The mechanical resistance of the soil to the penetration (RP) was evaluated in two steps: before subsoiling (AS) and after subsoiling (OS), by means of an impact penetrometer. The results showed that RP presented values above 2 MPa in both treatments in the superficial layers (0 to 40 cm) before subsoiling. After subsoiling, RP values showed a significant difference by the “t” test at the 5% level. RP values decreased at all depths, with a reduction of 20% up to the 40 cm layer for both treatments, showing the importance of subsoiling in breaking the compacted layers of the soil.

**Keywords:** forest soil preparation, compression, penetrometer.

## 1. INTRODUÇÃO

Os solos florestais é um sistema complexo que fornece água, ar e nutrientes as plantas, tornando-se fundamental no crescimento radicular e na maximização da produção das culturas (LETEY, 1985). Neste contexto, os sistemas de preparo do solo devem oferecer condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas. Para Klute (1982), dependendo

do solo, do clima, da cultura e de seu manejo, o sistema de preparo do solo pode promover a degradação da qualidade física do solo, com restrições ao crescimento radicular.

Para a qualidade física, a resistência do solo à penetração (RP) é considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes. Por isso, sua quantificação representa importante indicativo da dinâmica de crescimento e

desenvolvimento do sistema radicular das plantas (STOLF et al., 1983; TORMENA; ROLOFF, 1996; PEREIRA et al., 2002; MERCANTE et al., 2003).

A RP é influenciada por uma série de propriedades do solo, como densidade, teor de umidade, textura, agregação, cimentação, teor de matéria orgânica e mineralogia (TAVARES FILHO et al., 2012). Corroborando com o autor, Vaz et al. (2011) afirmam que as camadas de solos compactados podem não ser detectadas se a RP for avaliada em solos muito úmidos, pois o aumento do conteúdo de água no solo tende a reduzir os valores de RP.

Greacen e Sands (1980), consideram os valores de RP maiores do que 2,0 MPa como limite crítico (LC), pois podem restringir o crescimento radicular das plantas, enquanto que, Zou (2000), considera os valores acima de 3 MPa como limite restritivo (LR) ao desenvolvimento do sistema radicular de espécies florestais.

A penetrometria é um método apropriado para avaliar a resistência à penetração de raízes no solo (BENGHOUGH; MULLINS, 1990). As principais vantagens do uso do penetrômetro são a facilidade e rapidez na obtenção dos resultados, além da possibilidade de um maior número de repetições. No entanto, a dependência dos resultados em relação ao conteúdo de água e à densidade do solo, dificulta a sua interpretação (CASSEL et al., 1978).

Apesar de existirem diversas opções para realizar o preparo do solo, a subsolagem se consolidou no setor florestal, pelos seus efeitos benéficos para o desenvolvimento das plantas, aumento da infiltração de água, maior aeração e etc (BLAZIER; DUNN, 2008; DEDECEK et al., 2007; MINATEL et al., 2006; RAPER et al., 2009) e as suas vantagens operacionais, tais como maior capacidade de trabalho e menor custo (RAPER; BERGTOLD, 2007; SALVADOR et al., 2008).

Nichols et al. (1958) definem a subsolagem como uma operação de preparo de solo realizada normalmente entre 0,30 e 0,40 m de profundidade. Para Fessel (2003), a subsolagem é utilizada para romper camadas de solo compactadas, em profundidades maiores do que 0,40 m e Dalbem et al. (2008), recomendam a profundidade mínima de 0,50 m no preparo mecanizado de solo, para plantios florestais.

O processo de mecanização do setor florestal possibilitou uma evolução significativa na produtividade, na redução de custos e na melhoria da qualidade das operações florestais. Entretanto, o tráfego de máquinas de colheita de madeira é uma grande preocupação por parte dos gestores florestais, sendo responsável por impactos ambientais consideráveis, com destaque na compactação do solo, quando não há um planejamento adequado das operações (SAMPIETRO et al., 2015).

Diante disso, torna-se necessário a realização de estudos que visem contribuir com informações sobre os impactos do preparo de solo nas propriedades do solo em diferentes condições de profundidade de subsolagem, possibilitando o entendimento das relações entre resistência do solo a penetração e profundidade de subsolagem, fornecendo subsídios para o planejamento das operações, aumento de produtividade e redução dos custos de produção

Assim, objetivou-se nesse trabalho avaliar a resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico submetido a duas profundidades de subsolagem.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado nas áreas operacionais de uma empresa florestal localizada na região dos Campos Gerais, estado do Paraná (24° 21' 24" S e 50° 37' 18" W). O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd), com relevo plano suave ondulado e textura argilosa conforme sistema de classificação da empresa. A área de estudo estava ocupada com povoamento de *Eucalyptus grandis*. A coleta dos dados foi realizada no período de junho a agosto de 2013.

### 2.2. Descrição do sistema de preparo do solo

A operação de subsolagem foi realizada por um trator de esteiras com potência bruta de 170 HP (127 kW), peso operacional de 19.000 kg, equipado com lâmina frontal tipo VShear (lâmina em forma de V de 3,86 m comprimento x 1,16 m altura) e acoplado ao subsolador de arrasto monohaste, com peso de 5390 Kg (Figura 1). O subsolador é equipado com disco de corte de galhada à frente da haste, aleta regulada para atingir 40 a 50 cm de profundidade no ponto central do sulco, haste em formato reta e ponteira com asas, discos de curva, rolo compressor e reservatório de fertilizantes de 700 kg.



Fonte: Os autores.

Figura 1. Conjunto trator-subsolador avaliado na pesquisa.  
Figure 1. Tractor-subsoiler evaluated in the survey.

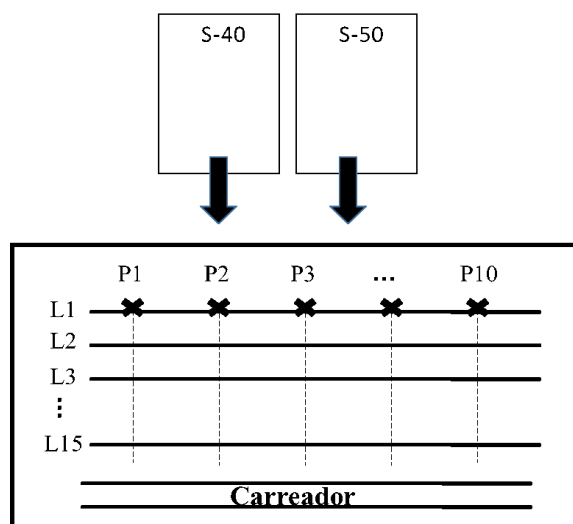
### 2.3. Delineamento experimental

O experimento foi realizado com delineamento em blocos completos casualizados, sendo três blocos por tratamento. Os blocos eram os talhões experimentais e os tratamentos duas profundidades de subsolagem: (S-40) subsolagem de 40 cm e (S-50) subsolagem de 50 cm.

Dentro de cada talhão do estudo foi considerado a linha de preparo do solo como sendo uma unidade amostral composta. Foram amostradas 10 linhas de preparo de solo para cada tratamento, distribuído na área de forma sistemática. Nessas linhas foram levantados 15 pontos, formando uma malha de 150 pontos amostrais. A posição do ponto inicial da malha foi determinada pelo sorteio das distâncias aos carregadores. Somente as linhas de preparo com mais de 200 m de comprimento foram consideradas no sorteio. As parcelas foram instaladas a partir de uma distância mínima de 20 m dos carregadores, de forma

a permitir a estabilização do equipamento na execução da operação (Figura 2).

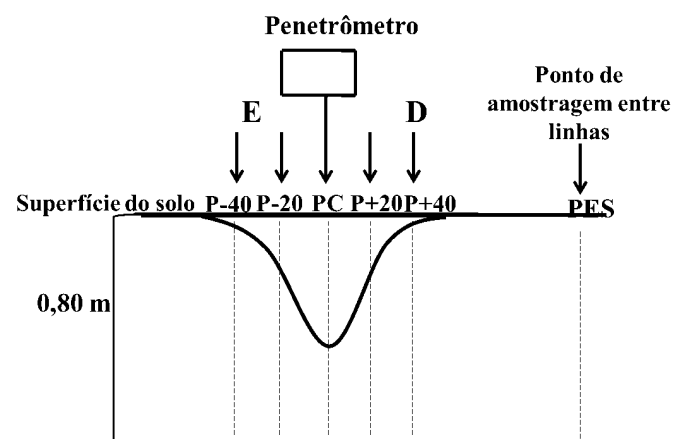
A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada com em dois momentos: antes da subsolagem (AS) e após a subsolagem (OS), obtidas em cinco linhas de amostragem. Em cada uma dessas linhas foi alocado um transecto transversalmente ao sulco com o auxílio de uma trena, sendo composto por seis pontos de coleta. Os pontos de coleta foram obtidos no ponto central do sulco (PC) e em dois pontos à esquerda (P-20 e P-40) e dois à direita (P+20 e P+40) do sulco de preparo, equidistantes 20 cm entre si, além de um ponto localizado nas entrelinhas de sulco (PES) (Figura 3).



Fonte: Os autores.

Figura 2. Esquema de malha das parcelas mostrando os blocos (talhões), os tratamentos S-40 e S-50 as parcelas. Cada parcela com as quinze linhas de preparo de solo (na vertical) e os dez pontos amostrais por linha (na horizontal).

Figure 2. Mesh scheme of plots showing blocks (blocks), treatments S-40 and S-50 plots. Each plot with the fifteen soil preparation lines (vertically) and the ten sampling points per line (horizontal).



Fonte: Os autores.

Figura 3. Esquema do procedimento de amostragem da resistência do solo à penetração na linha de sulco do preparo do solo (E = a esquerda do centro do sulco; D = a direita do centro do sulco).

Figure 3. Scheme of the sampling procedure of soil resistance to penetration in the furrow line of the soil preparation (E = the left of the center of the furrow, D = the right of the furrow center).

## 2.4. Avaliação da resistência do solo à penetração (RP)

A RP foi determinada por meio de penetrômetro eletrônico digital da marca Eijkelkamp, modelo 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>, com velocidade controlada de penetração de 2 cm s<sup>-1</sup>, controlado por uma célula de carga para controle da força aplicada no momento da penetração.

A obtenção dos dados foi realizada conforme recomendações da American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE, 2006a,b), sendo as leituras realizadas em intervalos de 1 cm até a profundidade de 80 cm.

## 2.5. Análise estatística

Os valores médios de RP obtidos nos momentos de subsolagem (AS e OS) e tratamentos S-40 e S-50 foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade.

## 3. RESULTADOS

Os valores médios de resistência do solo à penetração (RP) obtidos nas camadas de 0 a 60 cm antes da subsolagem (AS) e após a subsolagem (OS) pelo conjunto trator subsolador na profundidade de 40 e de 50 cm, bem como as diferenças percentuais entre os valores de RP são apresentados na Tabela 1.

Os valores médios de RP antes da operação de subsolagem (AS) variaram de 1,45 a 2,19 MPa e 1,52 a 2,41 MPa nas camadas avaliadas, nos tratamentos S-40 e S-50 respectivamente. Já após a operação na área (OS) os valores médios de RP variaram de 0,78 a 1,52 e 0,84 a 1,51 nas camadas 0 a 60 cm, nos tratamentos S-40 e S-50 respectivamente.

No tratamento S-40 observou-se uma variação nos valores de resistência do solo ( $\Delta RP$  %) de -55,68 a +4,82%, nas camadas de solo até 60 cm. Já no S-50, as diferenças entre os valores de RP foi de -47,16 a -0,66 % nas camadas avaliadas.

As curvas resultantes dos valores médios de RP, nas diferentes profundidades e pontos amostrais do solo, nos momentos AS e OS dos tratamentos S-40 e S-50 são apresentados na Figura 4. Verifica-se na mesma figura que os valores de resistência

Tabela 1. Valores médios de resistência do solo a penetração (RP) nos momentos antes (AS) e após a subsolagem (OS) nos tratamentos S-40 e S-50.

Table 1. Mean values of soil penetration resistance (RP) at moments before (AS) and after subsoiling (OS) at treatments S-40 and S-50.

Camada (cm)	Resistência do solo à penetração (MPa)		
	AS	OS	$\Delta RP$ (%)
	S-40		
0 – 10	1,76 a	0,78 b	-55,68
10 – 20	2,19 a	1,19 b	-45,66
20 – 40	2,05 a	1,63 b	-20,48
40 – 50	1,84 a	1,65 b	-10,33
50 – 60	1,45 a	1,52 a	+4,82
	S-50		
0 – 10	1,59 a	0,84 b	-47,16
10 – 20	2,41 a	1,40 b	-41,90
20 – 40	2,22 a	1,65 b	-25,67
40 – 50	1,80 a	1,60 b	- 11,2
50 – 60	1,52 a	1,51 a	-0,66

Médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Tukey,  $p > 0,05$ ).

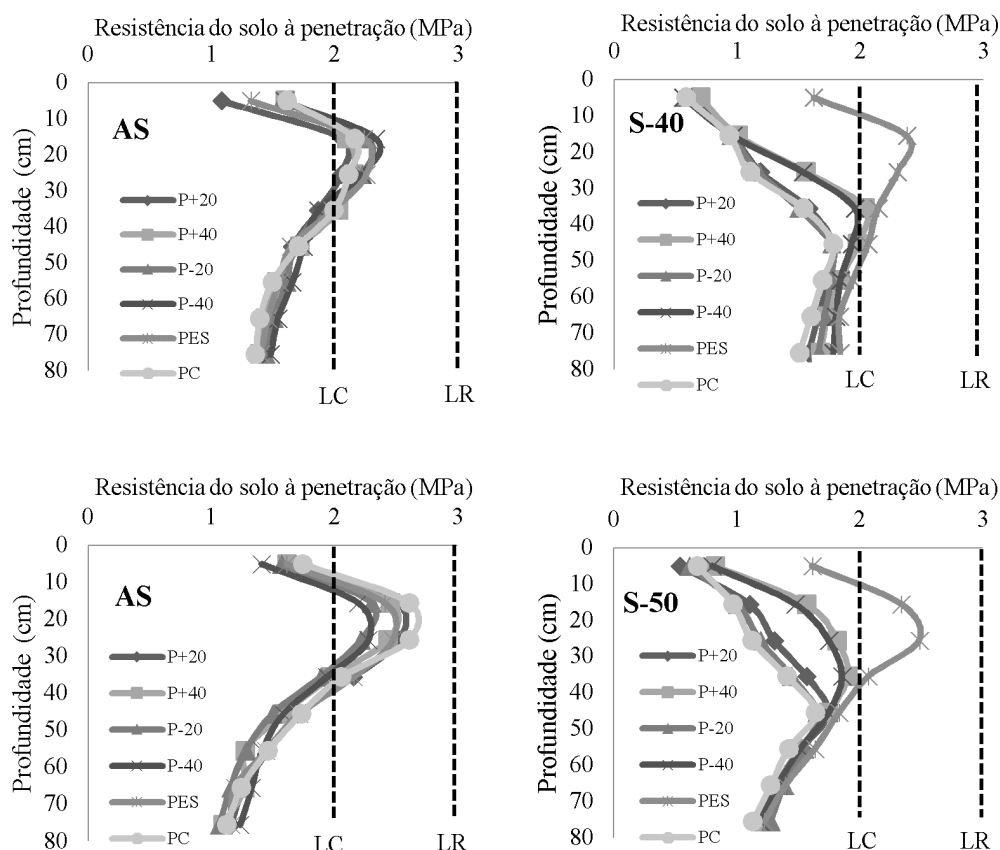


Figura 4. Valores médios de resistência do solo à penetração (RP) nos momentos antes (AS) e após a subsolagem (OS) nos tratamentos S-40 e S-50. Em que: Pontos amostrais = Ponto Central do sulco (PC), Ponto 20 cm à direita (P+20), Ponto 40 cm à direita (P+40), Ponto 20 cm à esquerda (P-20), Ponto 40 cm à esquerda e Ponto Entre Sulco (PES); Limite Crítico (LC); Limite Restritivo (LR).

Figure 4. Average values of soil resistance to penetration (RP) at moments before (AS) and after subsoiling (OS) in treatments S-40 and S-50. In what: Sample points = Center point of the groove (PC), Point 20 cm to the right (P + 20), Point 40 cm to the right (P + 40), Point 20 cm to the left (P-20), Point 40 cm To the left and Ponto Entre Sulco (PES); Critical Limit (LC); Restrictive Limit (LR).

do solo à penetração, antes e após a execução da subsolagem, apresentaram um comportamento decrescente com o aumento da profundidade.

Os pontos amostrais antes da operação de subsolagem (AS) apresentaram curvas de RP de comportamentos semelhantes entre os diferentes pontos transversais da área, para ambos os tratamentos (S-40 e S-50).

No momento OS, observa-se uma maior variação nos valores de RP, podendo destacar três tipos de comportamento dos pontos amostrais, PC, P+20 e P-20; P+40 e P-40; PES.

#### 4. DISCUSSÃO

Os maiores valores de RP foram encontrados nas camadas de 10 a 40 cm de profundidade do solo (Tabela 1). Tal fato pode ser explicado pela intensidade anterior do tráfego das máquinas de colheita na área. Lopes et al. (2015), observaram um aumento na resistência do solo à penetração acima do limite crítico (2,0 MPa) ao desenvolvimento das plantas após o tráfego das máquinas de colheita florestal na camada do solo a partir de 10 cm de profundidade.

Na Tabela 1 encontra-se uma diminuição nos valores de RP após a subsolagem, quando comparados aos valores no momento AS, já era esperado devido a ação do subsolador. Rosa et al. (2008) também encontrou diminuição nos valores de RP, em latossolo Vermelho, após a subsolagem.

A redução dos valores de RP ocorreu com mais intensidade nas camadas superficiais e foi diminuindo em profundidade. Tal fato pode ser explicado pela ação da haste do subsolador que promove descompactação do solo até profundidade de trabalho.

Para Fessel (2003) e Srivastava et al. (1993), a subsolagem é utilizada para romper camadas de solo impermeáveis ou compactadas, em profundidades maiores que 40 cm. Nesse sentido, respeitando-se as profundidades de trabalho de cada tratamento (40 e 50 cm), ambos promoveram preparo mecanizado do solo.

Na Figura 4, as curvas apresentaram, na profundidade de 10 a 40 cm, valores de RP acima do limite crítico de 2 MPa conforme Greacen e Sands (1980) e abaixo do limite restritivo 3 MPa ao crescimento de espécies florestais estabelecido por Zou (2000). Entretanto Reichert et al. (2007), observaram restrições ao crescimento radicular e aéreo de plantas de eucalipto mesmo em solos que não apresentaram valores de RP acima de 3 MPa.

As curvas dos pontos PC, P+20 e P-20 no momento OS, em ambos os tratamentos, mostraram que tais locais foram aqueles que apresentaram menores valores de RP, quando comparados as curvas no momento AS. Tal fato se deve à proximidade dos pontos amostrais do centro do sulco, onde a atuação da haste do subsolador foi maior, provocando maior revolvimento do solo nestes locais. Esse maior revolvimento do solo é importante para o estabelecimento das mudas durante o plantio, pois quanto maior a área de solo revolvido melhor será o ambiente para

estabelecimento e desenvolvimento das mudas. Prevedello et al. (2013) observaram um maior crescimento radicular de mudas de *Eucalyptus grandis* em solos que ocorreram maior revolvimento.

Já as curvas dos pontos P+40 e P-40 apresentaram uma redução menos acentuada dos valores de RP de ambos os tratamentos, nas camadas superficiais do solo (40 cm). Essa menor redução pode ser explicada pelo menor revolvimento de solo nessa área devido a maior distância dos pontos amostrais da atuação da haste do subsolador.

A redução dos valores de RP, nas camadas até 50 cm, em todos os cinco pontos amostrais da linha de sulco, demonstra que os tratamentos S-40 e S-50 atingiram objetivo do preparo de solo mecanizado de diminuição da resistência do solo, o que facilita o desenvolvimento do sistema radicular das árvores que passam a explorar maior volume de solo, aumentando sua absorção de água e nutrientes. Corroborando com os resultados, Gatto et al. (2003), avaliou o efeito do método de preparo do solo em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, verificou que a área que recebeu maior revolvimento apresentou maior crescimento das árvores.

## 5. CONCLUSÕES

A subsolagem promoveu a redução da resistência do solo à penetração em ambas as profundidades estudadas, com maior efeito na camada superficial do solo.

Ambos os tratamentos foram eficientes, entretanto a subsolagem de 40 cm é a mais recomendada, por apresentar a mesma eficiência a uma menor força de trabalho do trator, resultando em baixo custo operacional de preparo do solo para implantação de povoamentos florestais.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e Fundação de Amparo a Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio financeiro e concessão de bolsas de estudo. À empresa florestal pela cessão da área para o desenvolvimento da pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS-ASABE. Standard S313.2: Soil cone penetrometer. St. Joseph: ASABE, 2006a. p. 903-904.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS-ASABE. Standard EP542: Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer. St. Joseph: ASABE, 2006b. p. 1053-1055.
- BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *Journal Soil Science*, London, v. 41, p. 341-358, 1990. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1990.tb00070.x>
- BLAZIER, M. A.; DUNN, M. Stock type, subsoiling, and density impact productivity and land value of a droughty site. *Southern Journal of Applied Forestry*, Washington, v. 32, n. 4, p. 154-162, 2008.
- CASSEL, D. K.; BOWEN, H. D.; NELSON, L. A. An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on Norfolk Sandy Loam. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 42, p. 116-120, 1978.

- DALBEM, M.; DAL'COL, J.; SARCINELLI, T. S.; CARMO, A. P. do. **Fomento legal: cultivando o eucalipto**. Aracruz: Pauta 6, 2008. 50 p.
- DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. F. G.; SIMON, A. A.; Efeitos de sistemas de preparo do solo na erosão e na produtividade da acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). *Ciência Florestal*, v. 17, n. 3, p. 205-215, 2007.
- FESSEL, V. A. G. **Qualidade, desempenho operacional e custo de plantios, manual e mecanizado, de *Eucalyptus grandis*, implantados com cultivo mínimo**. 2003. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.
- TAVARES FILHO, J.; FELTRAN, C. T. M.; OLIVEIRA, J. F.; ALMEIDA, E. Modelling of Soil Penetration Resistance for an Oxisol under No-Tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, p. 89-95, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100010>
- GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. *Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 1-15, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000500006>
- GREACEN, E. L.; SANDS, R. Compaction of forest soils: a review. *Australian Journal of Soil Research*, v. 18, n. 2, p. 163-189, 1980.
- KLUTE, A. Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review. In: VAN DOREN, D. M.; ALLMARAS, R. R.; LINDEN, D. R.; WHISLER, F. D. (Ed.) **Predicting tillage effects on soil physical properties and processes**. Madison: ASA, 1982. cap.3, p. 29-43.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science*, v. 1, p. 277-294, 1985.
- LOPES, E. S.; OLIVEIRA, D.; RODRIGUES, C. K.; DRINKO, C. H. Compactação de um solo submetido ao tráfego do harvester e do forwarder na colheita de madeira. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 22, n. 2, p. 223-230, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.046413>
- MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, p. 1149-1159, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600019>
- MINATEL, A. L. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F.; NATALE, W. Efeitos da subsolagem e da adubação verde nas propriedades físicas do solo em pomar de citros. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 86-95, 2006.
- NICHOLS, M. L.; REED, I. F.; REAVES, C. A. Soil reaction to plowshare desing. *Agricultural Engineering*, v. 39, p. 336-339, 1958.
- PEREIRA, J. O.; SIQUEIRA, J. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, S. L. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 6, p. 171-174, 2002.
- PREVEDELLO, J. P.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; VOGELMANN, E. S.; FONTANELA, E.; REICHERT, J. M. Manejo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill exMaiden em argilossolo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 129-138, 2013. <http://dx.doi.org/10.5902/198050988447>
- RAPER, R. L.; BERGTOLD, J. S. In-row subsoiling: a review and suggestions for reducing cost of this conservation tillage operation. *Applied Engineering in Agriculture*, Saint Joseph, v. 23, n. 4, p. 463-471, 2007.

- RAPER, R. L.; SCHWAB, E. B.; BERGTOLD, J. S.; PRICE, A. J.; BALKCOM, K. S.; ARRIAGA, F. J.; KORNECKI, T. S. Maximizing cotton production and rye cover crop biomass through timely in-row subsoiling. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 25, n. 3, p. 321-328, 2009.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 5, p. 49-134.
- ROSA, D. P. da; REICHERT, J. M.; SATTLER, A.; REINERT, D. J.; MENTGES, M. I.; VIEIRA, D. A. Esforços e mobilização provocada pela haste sulcadora de semeadora, em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 396-400, 2008.
- SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L. Consumo de combustível na operação de subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 256-262, 2008.
- SAMPIETRO, J. A.; LOPES, E. S.; REICHERT, J. M. compactação causada pelo tráfego de *feller buncher* e *skidder* em um neossolo regolítico sob distintas umidades. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 239-248, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509817482>
- SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. **Engineering principles of agricultural machines**. Michigan: American Society of Agricultural Engineers – ASAE, 1993. 602 p.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANINETO, V. L. Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf. Piracicaba: IAA/PLANASUCAR, 1983. 9p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim, 1)
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 333-39, 1996.
- VAZ, C. M. P.; MANIERI, J. M.; DE MARIA, I. C.; TULLER, M. Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. **Geoderma**, v. 166, n. 1, p. 92-101, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.07.016>
- ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G.; HUDSON, I. Least limiting water range: A potential indicator of physical quality of forest soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 28, p. 947-958, 2000.