

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**PREPARO DO SOLO E CRESCIMENTO INICIAL DE  
*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. EM ARGISSOLO**

**Dissertação de Mestrado**

**Juliana Prevedello**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2008**

**PREPARO DO SOLO E CRESCIMENTO INICIAL DE  
*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. EM ARGISSOLO**

**por**

**Juliana Prevedello**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal.**

**Orientador: Dalvan José Reinert**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2008**

Prevedello, Juliana, 1982-

P944s

Preparo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. em Argissolo / por Juliana Prevedello ; orientador Dalvan José Reinert. – Santa Maria, 2008.

81 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2008.

1. Engenharia florestal 2. Florestas plantadas 3. Solo 4. Compactação 5. Crescimento I. Reinert, Dalvan José, orient. II. Título

CDU: 630.114

Ficha catalográfica elaborada por  
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

---

© 2008

Todos os direitos autorais reservados a Juliana Prevedello. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Florestal/Av. Roraima, n. 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97105-900.

Fone/Fax: (055) 3220-8336; End. Eletr: juliprev@hotmail.com

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**PREPARO DO SOLO E CRESCIMENTO INICIAL DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. EM ARGISSOLO**

Elaborada por  
**Juliana Prevedello**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Dalvan José Reinert, PhD.**  
(Presidente/Orientador)

**Jackson Adriano Albuquerque, Dr. (UDESC)**

**Vanderlei Rodrigues da Silva, Dr. (Cesnors – UFSM)**

Santa Maria, 29 de fevereiro de 2008.

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Célio R. Prevedello e Lurdes G. Prevedello,  
aos meus irmãos Valnei e Fernanda e  
ao meu namorado Fabrício H. Steffens.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de realização desse trabalho;

Ao professor e orientador Dalvan José Reinert pela dedicação, ensinamentos, paciência e amizade que foram de suma importância para minha formação;

Ao professor Frederico Dimas Fleig pelas sugestões, ensinamentos e amizade;

Em especial, aos amigos e colegas de Mestrado e Doutorado do Laboratório de Física do Solo Eracilda Fontanela, Adão Corcini, André Brandt, Douglas Kaiser, e Eduardo Suzuki, pelo incentivo e explicações incansáveis nas tarefas de laboratório e, principalmente, pelo companheirismo, dedicação e amizade incondicional;

Aos amigos e colegas Leonir Uhde, Paulo Gubiani, Carlos Streck, Leandro Dalbianco, Marcelo Kunz, Vanderléia Trevisan e David da Rosa e aos bolsistas de iniciação científica, Fabiano Braga, Maurício Kunz, Mirian Fernandez, Cláudia Barros, Neiva Somavila, Vinícius Hilbig, Marcelo Mentges, Davi Vieira, Eduardo Vollgmann, pelo companheirismo e ajuda prestada para a realização dos trabalhos de campo e laboratório;

Aos colegas Engenheiros Florestais, Fabrício Steffens, Tiago Wayhs e Guilherme Ivanov, pela amizade e ajuda na lida de campo;

À Capes pela concessão da bolsa de estudos que propiciou a concretização desse estudo;

À Fepagro Florestas Boca do Monte – Santa Maria, pela disponibilidade da área, além do apoio e ensinamentos técnicos de seus funcionários;

Aos funcionários Flávio Fontinelli, pela amizade e auxílio para realização das análises laboratoriais. E à Cerlene Machado (Tita), funcionária da PPGEF, pelo carinho e pelos lembretes;

À minha família e ao meu namorado Fabrício pelo amor e compreensão em todos os momentos da minha vida, sempre me apoiando e incentivando;

Ao Adolpho, fiel e companheiro de todas as horas.

Muito Obrigada!!!

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **PREPARO DO SOLO E CRESCIMENTO DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. EM ARGISSOLO**

AUTORA: JULIANA PREVEDELLO

ORIENTADOR: DALVAN JOSÉ REINERT

Local e data de defesa: Santa Maria, 29 de fevereiro de 2008.

No Brasil, e especialmente no estado do Rio Grande do Sul a eucaliptocultura está se expandindo em diversas áreas, devido à facilidade de adaptação em diferentes condições edafoclimáticas e diversificação de uso de sua madeira. Geralmente os ecossistemas destinados as plantações florestais são bastante sensíveis à ação antrópica, necessitando de um cuidadoso planejamento da implantação florestal, frente ao grande risco de acelerar o processo de degradação desses solos. Assim, os sistemas de manejo devem ter por objetivo principal possibilitar um adequado crescimento inicial das florestas aliado à conservação do solo. Com o objetivo de avaliar o efeito das modificações nas propriedades físicas do solo provocada pelo preparo do solo sobre o crescimento do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden., realizou-se um experimento na área experimental da FEPAGRO FLORESTAS - Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisas de Recursos Florestais, no município de Santa Maria, RS. Essas modificações foram analisadas em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico que recebeu os seguintes tratamentos distribuídos em um delineamento experimental de blocos ao acaso: PD – sistema plantio direto, Esc - escarificado; EG - escarificado mais grade niveladora e ER - enxada rotativa. O eucalipto foi plantado em novembro de 2006. As propriedades físicas do solo foram determinadas três vezes e os parâmetros de crescimento quatro vezes em doze meses. O PD resultou em menor crescimento inicial do eucalipto, maior resistência do solo à penetração e densidade e menor macroporosidade, quando comparado com manejos mobilizados. As condições físicas entre as camadas apresentaram maiores restrições. A estabilidade de agregados demonstrou resultados sugerindo condição de degradação, contudo, sem valores críticos. O manejo do solo com mobilização resultou em melhor crescimento inicial do *Eucalyptus grandis*.

Palavras-chave: Compactação, florestas plantadas, crescimento.

## **ABSTRACT**

Master Dissertation  
Graduate Program in Forest Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **SOIL TILLAGE AND INITIAL GROWTH TO *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. IN HAPLUDALF SOIL**

AUTHOR: JULIANA PREVEDELLO

ADVISER: DALVAN JOSÉ REINERT

Date e Place of the Defense: Santa Maria, February 29, 2008.

The *Eucalyptus* plantation is growing fast in south Brazil due its easy climate adaptation and diverse use of its wood. The ecosystems where the expansion is going on are fragile to anthropic action implying in a need of careful planning to set forest projects. One of important steps is the soil tillage used to implant forests which may have as main concern create a good soil environment to initial plant growth at same time prevent soil degradation. The objective of this study was to evaluate soil physical changes and its effects on initial growth of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. caused by several soil tillage too implant a forest. The experiment was set up at experimental area of FEPAGRO FLORESTAS, a state forest research center located at Santa Maria county, state of Rio Grande do Sul in a Hapludalf soil. The experimental design was a complete randomized block with three replication and four treatments as follow: PD – no-tillage; Esc – chisel plow; EG – chisel plow plus harrowing and; ER – rotary plow (rotary tiller). The *Eucalyptus* was planted in November of 2006. The soil physical properties were measured three times and growth parameters four times throughout first twelve months. The plantation without tillage caused a initial *Eucalyptus* growth in soil with higher soil resistance and bulk density and smaller macroporosity, as compared to tillage which mobilized soil. The physical condition at inter-row presented more restrictive conditions. The aggregate stability showed results suggesting some degradation condition, however, did not caused critical values. The soil tillage with mobilization resulted in better initial growth of *Eucalyptus grandis*.

Keys words: compaction, planted forest, growth.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Resistência do solo à penetração na época 2 (aos 3 meses de idade), para o plantio direto (PD), escarificado (Esc), Escarificado + grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER). Médias de RP para os diferentes tratamentos (a) e umidade do solo (b) no momento da avaliação. ....34
- FIGURA 2 – Resistência do solo à penetração na época 3 (aos 12 meses de idade), para o plantio direto (PD), escarificado (Esc), Escarificado + grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER). Médias de RP para os diferentes tratamentos (a) e umidade do solo (b) no momento da avaliação. ....35
- FIGURA 3 – Distribuição do tamanho de agregados estáveis em água em Argissolo Vermelho-Amarelo nas diferentes épocas de avaliação. Valores seguidos de mesma letra entre as épocas, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.....48
- FIGURA 4 – Distribuição do tamanho de agregados estáveis em água em Argissolo Vermelho-Amarelo determinados na entrelinha (E) e linha (L) de plantio para cada sistema de manejo na época 2. Valores seguidos de mesma letra para cada classe de agregado entre E e L, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.....50
- FIGURA 5 – Distribuição do tamanho de agregados estáveis em água em Argissolo Vermelho-Amarelo determinados na entrelinha (E) e linha (L) de plantio para cada sistema de manejo na época 3. Valores seguidos de mesma letra para cada classe de agregado entre E e L, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.....50
- FIGURA 6 – Distribuição radicular do *E. grandis* no perfil cultural (1,0 x 0,60 m) para os diferentes métodos de preparo do solo com três repetições. Avaliação realizada aos 8 meses após o plantio. Quadrícula com malha de 0,05 x 0,05 m. ....53

FIGURA 7 – Biomassa das árvores médias, determinada aos 8 meses de idade do <i>E. grandis</i> .....	54
FIGURA 8 – Incremento periódico em altura do <i>E. grandis</i> segundo os sistemas de manejo do solo.....	56
FIGURA 9 – Relação entre o diâmetro a altura do peito (Dap) e altura das árvores de <i>E. grandis</i> aos 12 meses de idade.....	58

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Distribuição de tamanho de partículas nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 m. ....	26
TABELA 2 – Atributos químicos do solo nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. ....	27
TABELA 3 – Densidade de partículas ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) dos diferentes tratamentos, nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. ....	32
TABELA 4 – Correlações entre a resistência do solo à penetração e atributos físicos do solo.....	36
TABELA 5 – Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) determinada na linha de plantio para os diferentes manejos, épocas de amostragem, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo. ....	37
TABELA 6 – Macroporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) determinada na linha de plantio para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo. ....	38
TABELA 7 – Microporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) determinada na linha de plantio para os diferentes manejos, épocas de amostragem, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo. ....	39
TABELA 8 – Porosidade total do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) determinada na linha de plantio para os diferentes manejos, épocas de amostragem, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo. ....	40
TABELA 9 – Densidade ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) e macroporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) aos 3 meses após a instalação do experimento (época 2), determinados na linha (L) e entrelinha (E) dos diferentes manejos, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.....	42
TABELA 10 – Microporosidade e porosidade total do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) aos 3 meses após a instalação do experimento (época 2), determinados na linha (L) e entrelinha (E)	

dos diferentes manejos, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.....	44
TABELA 11 – Densidade ( $Mg\ m^{-3}$ ) e macroporosidade do solo ( $m^3\ m^{-3}$ ) aos 12 meses após a instalação do experimento (época 3), determinados na linha (L) e entrelinha (E) dos diferentes manejos, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.....	45
TABELA 12 – Microporosidade e porosidade total do solo ( $m\ m^{-3}$ ) aos 12 meses após a instalação do experimento (época 3), determinados na linha (L) e entrelinha (E) dos diferentes manejos, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.....	46
TABELA 13 – Diâmetro médio geométrico (DMG) e teor de matéria orgânica (MO%) da camada 0,00-0,05 m, nas diferentes épocas, para o plantio direto (PD), escarificado (Esc), escarificado + grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER) do Argissolo.....	47
TABELA 14 – Diâmetro médio geométrico (DMG) e Teor de matéria orgânica (MO%) da camada 0,00-0,05 m aos 3 meses (época 2) e aos 12 meses após a instalação do experimento (época 3), determinados na linha (L) e entrelinha (E) para o plantio direto (PD), escarificado (Esc), escarificado + grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER) do Argissolo.....	51
TABELA 15 – Resultados do crescimento do <i>E. grandis</i> nos sistemas de manejo durante o período de estudo. ....	55
TABELA 16 – Valores médios de diâmetro a altura do peito (Dap), área basal e sobrevivência do <i>E. grandis</i> aos 12 meses de idade. ....	57

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Influência dos métodos de preparo nos atributos físicos do solo .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Densidade e porosidade do solo .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>Resistência do solo à penetração (RP) e umidade do solo.....</b>	<b>18</b>
<b>3.4</b>	<b>Agregação e carbono orgânico do solo.....</b>	<b>19</b>
<b>3.5</b>	<b>Efeito do preparo do solo no crescimento inicial de florestas plantadas .....</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Solo e tratamentos.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Propriedades físicas avaliadas .....</b>	<b>26</b>
4.2.1	Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo .....	27
4.2.2	Distribuição do tamanho de agregados e carbono orgânico do solo .....	27
4.2.3	Resistência mecânica do solo à penetração.....	28
4.2.4	Avaliação do desenvolvimento inicial do eucalipto .....	29
4.2.3.1	Sobrevivência (s%) .....	29
4.2.3.2	Área basal por hectare (G).....	29
4.2.3.3	Volume por hectare (V) .....	30
4.2.3.4	Distribuição do sistema radicular do <i>E. grandis</i> e biomassa aérea .....	30
4.2.5	Análise estatística .....	31
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	<b>Propriedades físicas do solo .....</b>	<b>32</b>

5.2	Dendrometria do <i>Eucalyptus grandis</i> .....	52
6	CONCLUSÕES.....	59
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
8	BIBLIOGRAFIA .....	61
	ANEXOS.....	72

# 1 INTRODUÇÃO

No Brasil e, particularmente no estado do Rio Grande do Sul, a eucaliptocultura está se expandindo em diversas áreas, principalmente pelas suas características de adaptação as diferentes condições edafoclimáticas e diversificação de uso de sua madeira.

Atualmente, o Brasil é o país com maior área de floresta plantada da América Latina, com aproximadamente 5,6 milhões de hectares. O *Eucalyptus sp.* representa 61 % desta área, o *Pinus sp.*, 32 % e demais espécies florestais, 7 %. O Rio Grande do Sul é o sexto estado com maior área territorial destinada aos plantios florestais, com cerca de 360.770 ha, desses 49 % é cultivado com eucalipto (SBS, 2006).

A produção florestal é determinada por condicionantes de ordem ecológica e sócio-econômica, que interagem de forma específica no espaço agrícola. Dessa forma, geralmente os ecossistemas destinados as plantações florestais são bastante sensíveis à perturbação antrópica, ou seja, solos com baixa fertilidade natural, ou áreas com histórico de uso inadequado da terra, com desmatamento e emprego de práticas impróprias de manejo agropecuário (GONÇALVES, 2002). A fragilidade desses ecossistemas implica na necessidade de um cuidadoso planejamento da implantação florestal, frente ao grande risco de acelerar o processo de degradação desses solos.

A principal premissa para avaliar a sustentabilidade de um sistema de manejo é que ele permita manter as propriedades físicas do solo o mais próximo das condições originais em que este se encontrava na natureza, na maior parte das vezes sob cobertura de matas, mas também sob outros tipos de cobertura vegetal (LLANILLO et al., 2006).

O solo é a característica do habitat que mais influencia o crescimento das plantas e, entre seus principais atributos, encontram-se: a textura, estrutura, temperatura, pH, fertilidade, umidade e aqueles relacionados com o material de origem (PRITCHETT, 1979). Entre os atributos do solo, aqueles relacionados com os aspectos físicos são de extrema importância, pois dizem respeito ao desenvolvimento das plantas e, segundo Brady (1996) quanto menor a densidade do solo e a resistência à penetração das raízes e maior a porosidade total, a

macroporosidade e a disponibilidade de água, maiores são as taxas de crescimento dos sítios florestais.

Dentre esses atributos físicos do solo, Hildebrand (1994) esclarece que existem fatores internos e externos. Alguns fatores internos pouco ou só se alteram a longo prazo e são mais difíceis de serem controlados, como a granulometria. A agregação do solo pode variar de acordo com o teor de matéria orgânica e preparo do solo (PREVEDELLO, 1996), a densidade do solo pode ser alterada em função do tráfego, preparo do solo, do clima e da ação da fauna e da flora do solo (HARTGE & HORN, 1992). E os fatores externos estão ligados ao preparo do solo, propriamente dito.

Quanto menor as alterações dos atributos do solo, mais facilmente se podem atingir os objetivos do manejo florestal sustentável (MACHADO, 2004). Porém, quando o solo é manejado de forma intensa e em um teor de umidade inadequado, os efeitos relacionados ao preparo do solo podem ser negativos como: aumento nas taxas de erosão e de mortalidade de mudas após o plantio e diminuição da produtividade dos talhões. Portanto, para manter a produtividade dos talhões é necessário que os danos causados ao solo sejam mínimos.

Para algumas condições de solo, o preparo reduzido, seja por subsolagem, escarificação ou coveamento, pode não ser suficiente para adequar o solo fisicamente às árvores e pode reduzir a produtividade. Diante disso, torna-se necessário ampliar os estudos sobre o cultivo mínimo, objetivando adequá-lo e adaptá-lo às diferentes situações de solo, sem o comprometimento da conservação do mesmo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O estudo buscou identificar e quantificar o efeito dos métodos de preparo do solo nos atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico e o desenvolvimento inicial da cultura de *Eucalyptus grandis*.

### **2.2 Objetivos específicos**

Avaliar o efeito do preparo na distribuição do tamanho de poros, na densidade, na resistência do solo à penetração, na agregação e no crescimento inicial do eucalipto;

Avaliar o impacto do preparo na linha e entrelinha de plantio sobre a distribuição do tamanho de poros, densidade e agregação do solo;

Avaliar a permanência no tempo dos efeitos sobre os atributos físicos do solo;

Verificar a existência de um sistema de manejo que propicie um adequado desenvolvimento inicial da floresta, sem o comprometimento da sua conservação.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Influência dos métodos de preparo nos atributos físicos do solo**

O efeito do preparo do solo é resultado do tipo de implemento, forma e intensidade de seu uso (GONÇALVES et al., 2000). Dessa forma, o melhor manejo é aquele que apresenta interferência mínima e que deixe a maior quantidade de resíduos vegetais sobre a superfície do solo. No entanto, nenhum implemento promove melhorias na estrutura, somente com a atividade biológica de organismos do solo ou a ação do sistema radicular das plantas isso poderá ser alcançado. Assim, o grande desafio do manejo do solo consiste em identificar o equilíbrio entre estratégias e métodos silviculturais que mantenham ou elevam a produtividade a longo prazo, sem ou com mínimos impactos negativos ao ambiente.

Segundo Neves Junior (2005) a qualidade física do solo diz respeito à capacidade do mesmo em promover ao sistema radicular das plantas condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento. FORSYTHE (1967) argumenta que os principais fatores físicos de crescimento são: a disponibilidade de água e ar, temperatura e resistência que o solo oferece à penetração das raízes. O teor de água no solo controla a aeração, a temperatura e a impedância mecânica, os quais são afetados pela densidade do solo e distribuição do tamanho de poros. Esses fatores juntos interagem e regulam o crescimento e funcionalidade das raízes refletindo diretamente na produtividade dos cultivos (REICHERT et al., 2003).

O preparo do solo na silvicultura melhora as condições para o estabelecimento das plantas e o crescimento inicial e aumenta a produtividade florestal. Além disso, visa controlar plantas daninhas, pragas e doenças e contribuir para a melhoria das condições físicas do solo. Em contrapartida, quando essa prática é realizada de forma intensa e inadequada esses objetivos não são alcançados. Segundo Vieira (1984), a intensidade do revolvimento, o tipo de equipamento, o manejo de resíduos vegetais e suas condições de umidade no momento do trabalho são fatores que devem ser observados, pois podem causar modificações físicas ou até mesmo prejuízos ao perfil do solo.

Diferentes sistemas de manejo têm alterado as propriedades físicas e mecânicas do solo (GUPTA et al., 1985; SOANE; VAN OUWERKERK, 1994; DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996), podendo causar compactação com diferentes níveis, em função da classe de solo e da época de realização das operações mecanizadas.

A partir disso, o sistema de plantio direto foi desenvolvido com o objetivo de buscar a sustentabilidade da produção agrícola e florestal, além de ser eficiente no controle da erosão (RESCK, 1999) e evitar exposição do solo à intensa ação dos raios solares e da chuva. Contudo, o não revolvimento, aliado ao tráfego de máquinas, acarreta alterações na sua estrutura que, associadas à reduzida rugosidade superficial, podem ser desfavoráveis à infiltração de água, modificando sua dinâmica nesse sistema (CAMARA et al., 2005). Costa et al. (2003) e Albuquerque et al. (1994) verificaram que solo sob plantio direto apresentou maior densidade na camada superficial. Segundo Llanillo et al. (2006) isso ocorre provavelmente em função do trânsito de máquinas e adensamento natural e a diminuição em subsuperfície indica uma melhoria na qualidade física decorrente da atividade da fauna edáfica e de raízes, as quais atuam na formação de canais (bioporos).

O sistema de cultivo mínimo, o qual utiliza implementos de hastes, como escarificadores, atua na descompactação do solo e resulta em superfícies mais rugosas (KOCHHANN; DENARDIN, 2000), o qual mantém ou eleva o nível de fertilidade do solo. Com a redução do revolvimento nas camadas, a estrutura é pouco afetada, mantendo as condições de porosidade e capilaridade, fatores essenciais ao crescimento radicular e aos processos de transferência de água e nutrientes no solo e, além disso, maiores quantidades de resíduos ficam depositados sobre a superfície ou parcialmente incorporados (DENARDIN, 1987).

O preparo do solo com escarificador ou subsolador tem sido amplamente utilizado como um sistema conservacionista, pois estes implementos conseguem mobilizar o solo (ORTIZ-CAÑAVATE; HERNANZ, 1989) e manter mais de 30% da cobertura superficial intacta (GONÇALVES et al., 2002), o qual proporciona mínima inversão superficial, além de diminuir a pulverização do solo, reduzindo os riscos de erosão (MAZUCHOWSKI; DERPSCH, 1984).

A escarificação rompe as camadas compactadas do solo até uma profundidade de 0,30 m. Esse processo, segundo Taylor; Beltrame (1980), gera benefícios imediatos por reduzir a densidade do solo o que, por sua vez, reduz a

resistência à penetração, aumenta o volume de macroporos, melhora a aeração e a drenagem interna do solo, resultando em infiltração mais rápida da água e conseqüentemente, diminui o escoamento superficial.

Camara et al. (2005) comparando sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho na região do planalto médio Riograndense verificaram que a escarificação reduziu a densidade e aumentou a rugosidade superficial, a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água no solo em relação ao plantio direto e, ainda, apresentou níveis de restos culturais sobre a superfície do solo semelhantes ao sistema de plantio direto. Observaram ainda que, após seis meses da escarificação os efeitos residuais persistiram o que está de acordo com Piece et al. (1992) que relataram que os efeitos da escarificação podem persistir por anos em solo de textura franco-arenoso.

Em área de reforma de *E. grandis*, Gatto et al. (2003) avaliando 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. Já, Cavichiolo et al. (2003) observou que em solo de textura média, o preparo mais intenso resultou nos menores incrementos em altura e diâmetro à altura do peito da rebrota de *E. saligna*, em relação à sulcagem e ao não revolvimento do solo. Essas diferenças de produtividade podem estar relacionadas à maior susceptibilidade de perda de matéria orgânica e diminuição de nutrientes nos solos de textura arenosa (FOX, 2000). Dessa forma, Mazuchowski; Derpsch (1984) dizem que o preparo do solo deve variar de acordo com as características dos solos, clima e finalidade a que se destina.

Em vista disso, a preservação ambiental no que diz respeito ao planejamento e gestão de uso dos recursos edáficos, hídricos e biológicos tem sido um fator relevante na atividade florestal, ao lado da produtividade e da qualidade dos produtos florestais. Dessa forma, a quantidade e o grau de influência aplicada nas variáveis ambientais e bióticas devem obedecer as peculiaridades de cada região, a fim de desenvolver um método de manejo de solo que possibilite o uso mais racional da terra.

### 3.2 Densidade e porosidade do solo

Uma das propriedades físicas mais estudadas e monitoradas é a densidade do solo. Geralmente, a variação na densidade é proveniente das diferenças no volume total de poros, de modo que densidade e porosidade estão muito relacionadas e por isso são analisadas de forma conjunta. O uso e manejo do solo influem na sua estrutura, assim, normalmente, solos de mata e campo nativo apresentam maior macroporosidade (ALBUQUERQUE et al., 2001) e conteúdo de matéria orgânica e estabilidade de agregados (SILVA et al., 1998) e menor temperatura e amplitude térmica, comparativamente com solos cultivados (COSTA et al., 2003).

Em solos agrícolas e florestais, o tráfego de máquinas nas operações de preparo e colheita exerce pressão na superfície do solo o que resulta, normalmente, em aumento da densidade e redução da porosidade total, principalmente a macroporosidade. Seixas (2002) cita vários fatores que influenciam no grau de compactação como: a quantidade e distribuição da camada de serapilheira e dos resíduos florestais da colheita, a textura e a estrutura do solo, a umidade do solo, o peso e a função da máquina, intensidade e velocidade do preparo.

A densidade e porosidade, apesar de não serem as propriedades que recebem maior impacto com a modificação da estrutura do solo, têm sido mais largamente usadas pela facilidade de coleta e determinação (REICHERT et al., 2003). Como valores críticos de densidade do solo, Reinert et al. (2001) propuseram  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$  para solos com horizonte de textura argilosa (mais de 55 % de argila),  $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$  para solos com horizonte de textura média (argila entre 20 e 55%) e  $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$  para solos com textura arenosa (menos de 20% de argila).

Vomocil; Flocker (1966) e Grable (1971) concluíram que um valor mínimo crítico para os macroporos é de 10%. Porém, Eavis (1972) verificou que solos com menos de 35% de macroporos paralisou o crescimento radicular de plantas. Uma contínua avaliação, no tempo, destes atributos físicos permite monitorar a eficiência ou não destes sistemas de manejo do solo quando se objetiva estabilidade estrutural. Porém, Prevedello (1996) relata que a porosidade total é variável em função da classe de solo: arenosos ( $0,35\text{-}0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ); siltosos e francos ( $0,30\text{-}0,55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ); argilosos ( $0,40\text{-}0,65 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ); húmiferos ( $0,60\text{-}0,80 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e turfosos ( $0,80\text{-}$

0,85 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). Além da quantificação e classificação diamétrica, a qualidade dos poros é de suma importância, pois diz respeito à continuidade, forma e distribuição dos poros e, estas características são responsáveis pela retenção e transporte de água no solo (HORTON et al., 1994), os quais são facilmente alterados pelo sistema de manejo aplicado.

Segundo Constantini (1995), o efeito primário da compactação é a redução do volume de poros, causando um reagrupamento das partículas. O aumento da densidade do solo e a redução da porosidade alteram a capacidade de trocas gasosas, retenção de água e condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração (STEPNIEWSKI et al., 2002), ocasionando impedimento mecânico ao crescimento de raízes, o que afeta indiretamente muitos processos químicos e biológicos (HORN et al., 1995). Essas alterações físicas comprometem o fluxo ou a quantidade de água, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e temperatura, os quais podem limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas e resultar em problemas ambientais (STEPNIEWSKI et al., 2002).

Um aumento na densidade do solo é representativo do impacto do tráfego de máquinas em sua estrutura. Mudanças na densidade servem como índices das mudanças nas propriedades físicas que regulam o crescimento das raízes. Mudanças de *E. grandis* produzidas em condições de casa de vegetação apresentaram inibição do crescimento radicular com densidade do solo entre 1,25 a 1,35 Mg m<sup>-3</sup> (Borges, 1986). Entretanto, Jussof (1988) em trabalho semelhante, verificou que mudas de *E. grandis* tiveram paralisação do crescimento das raízes quando os valores da densidade do solo superaram 1,25 Mg m<sup>-3</sup>. Já, as raízes de *Pinus taeda* não conseguiram se desenvolver em solos com densidade acima de 1,30 Mg m<sup>-3</sup>. Fernandez et al. (1995) verificaram completa inibição do crescimento radicular da soja, em Latossolo Vermelho-Escuro textura média, quando a densidade do solo foi superior a 1,52 Mg m<sup>-3</sup>.

Suzuki (2005) estudando Argissolo e Latossolo observou que a porosidade e a densidade foram pouco influenciadas pelo manejo do solo, as maiores alterações ocorreram quando se compararam as profundidades, principalmente a 0,10 m. Em contrapartida, Riquelme (2004) verificou em Argissolo de textura arenosa que o menor revolvimento do solo resultou em maior densidade e menor porosidade, e estes variaram com a profundidade. Também Gatto et al. (2003) obteve valores ligeiramente superiores de densidade no solo que recebeu menor revolvimento.

### 3.3 Resistência do solo à penetração (RP) e umidade do solo

A resistência do solo à penetração das raízes refere-se à dificuldade que uma raiz enfrenta ao crescer através de camadas densas e compactadas, ou a dificuldade que uma plântula encontra para emergir através da superfície do solo. Atualmente, esse atributo vem sendo largamente usado como indicador do grau de compactação dos solos, devido à facilidade e rapidez na sua determinação (DIAS JUNIOR, 2000).

A RP é uma propriedade físico-mecânica que é alterada pelo sistema de manejo e é facilmente determinada pelo uso de penetrômetros. Essa resistência está estreitamente ligada com a densidade do solo e, para um mesmo teor de água, é tanto maior quanto maior a densidade (REICHERT et al., 2003), assim, um solo com alta densidade não é limitante ao crescimento radicular das plantas se estiver úmido, porém, se esse mesmo solo estiver seco poderá apresentar limitações e terá um alto valor de RP (NEVES JUNIOR, 2005), pois a RP é diretamente afetada pelo teor de água no solo. Imhoff et al. (2000) demonstraram correlação negativa entre RP e umidade e correlação positiva entre RP e densidade do solo. Cavichiolo et al (2003) verificaram que a RP do solo aumentou em função de sua densidade tanto em solo de textura média quanto argilosa em área de rebrota de *E. saligna*.

Altos valores de RP podem influenciar o crescimento das raízes em comprimento e diâmetro e na direção preferencial do crescimento. A RP é sensivelmente influenciada pela umidade e condição estrutural do solo, sendo o crescimento radicular uma resposta contínua do ambiente físico. Quando a raiz está exercendo pressão máxima, a pressão do crescimento atinge até 1,3 MPa (CARSON, 1974; MISRA et al., 1986). Por sua vez, a elongação radicular cessa num solo com resistência à penetração de 0,8 a 5,0 MPa (GREACEN et al., 1969; CANARACHE, 1990), sendo esses valores dependentes da espécie cultivada. Segundo Camargo (1983), este impedimento ocorre quando o diâmetro da raiz é superior ao do poro no solo, se a raiz não romper este impedimento, seu sistema radicular ficará denso e raso.

Diversos autores têm demonstrado que o valor de 2,0 MPa passa a ser impeditivo para o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas (TAYLOR et al., 1966; SILVA et al., 1994; TORMENA, et al., 1998). Misra & Gibbons (1996)

relatam que as raízes do eucalipto parecem ser mais tolerantes a valores mais elevados de resistência à penetração do que plantas anuais e observaram que, houve redução no comprimento das raízes primárias e laterais de eucalipto em 71 e 31%, respectivamente, com um aumento da RP de 0,4 a 4,2 MPa. Já, Whitman et al. (1997) verificaram que resistência à penetração superior a 1,0 MPa prejudicaram o desenvolvimento de mudas de *E. grandis*.

Avaliações em Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso comparando solo manejado com preparo reduzido e convencional em relação à mata nativa foram realizados por Argenton et al. (2005). Os resultados mostraram que a RP na camada de 0,15 a 0,40 m foi superior a 2,0 MPa, nos dois sistemas de cultivo, indicando a formação de uma camada subsuperficial compactada, que pode limitar a penetração das raízes. Martins et al. (2002) verificou que o solo sob cultivo com *Pinus sp.*, *Eucalyptus sp.*, *Hevea brasiliensis* e mata nativa apresentaram, nessa ordem, os maiores valores de RP na profundidade de 0,20 a 0,40 m, sendo essa variação de 1,6 a 6,7 MPa. Concluiu ainda que esses povoamentos florestais não foram eficazes em recuperar a condição natural do solo.

### **3.4 Agregação e carbono orgânico do solo**

A agregação é um dos parâmetros que podem ser utilizados para medir a qualidade do solo, pois a manutenção da estrutura facilita a aeração e a infiltração de água e reduz a erodibilidade. A estabilidade dos agregados é influenciada por diversas características do solo, como textura (REICHERT et al., 2003), teor de óxidos de ferro e alumínio (OADES; WATERS, 1991; DUFRANC et al., 2004), teor de matéria orgânica (ROTH et al., 1991; BERTOL et al., 2000) e atividade microbiana (TISDALL; OADES, 1979), além do manejo e das práticas culturais (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990).

O incremento de matéria orgânica no solo resulta em maior número de ligações entre as partículas minerais, com conseqüente aumento da estabilidade dos agregados (PALADINI; MIELNICZUK, 1991; CAMPOS et al., 1995), entre outros atributos. O acúmulo de matéria orgânica, que pode ser obtido a partir de um manejo adequado e dos resíduos culturais, geralmente está associado a uma melhoria das condições físicas do solo (SIDIRAS et al., 1984; CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990;

PALADINI; MIELNICZUK, 1991; CAMPOS et al., 1995; BAYER; MIELNICZUK, 1997), especialmente pelos benefícios da matéria orgânica para a estrutura do solo.

O contínuo fornecimento de material orgânico tanto pelas secreções radiculares quanto pela renovação do sistema radicular e da parte aérea da vegetação ou dos resíduos da colheita, servem como fonte de energia para a atividade microbiana, cujos subprodutos resultantes atuam como agentes de formação e estabilização dos agregados (ALLISON, 1973; REICHERT et al., 2003). Ao lado desses benefícios, manifesta-se também o efeito mecânico e físico das raízes, ou seja, as pressões exercidas durante o crescimento são fenômenos importantes em zonas adjacentes às raízes (BRADFIELD, 1937; ALLISON, 1973; REICHERT et al., 2003).

Diversos pesquisadores consideram que a matéria orgânica é o principal agente de estabilização dos agregados do solo (TISDALL; OADES, 1982; CAMPOS et al., 1995). Hoth et al. (1991) estudando os fatores físicos e químicos relacionados com agregação de um Latossolo Roxo distrófico em Londrina-PR, concluíram que a estabilidade dos agregados é influenciada principalmente pelo teor de matéria orgânica. Observaram também que o solo que recebeu preparo convencional possuía o menor teor de carbono, com cerca de 1,91 % e à medida que se procedeu o preparo do solo com uso de escarificador ou plantio direto houve acréscimo no teor de carbono, com valores de 2,25 e 2,64%, respectivamente.

Wendling et al. (2005) verificaram que o cultivo do solo sob plantio direto aumenta os índices de agregação em relação ao preparo convencional, porém diminui em relação à mata nativa. Observaram também boa correlação entre carbono orgânico com os índices de estabilidade de agregados avaliados. Efeitos semelhantes do PD no aumento da estabilidade de agregados têm sido verificado em Argissolos (ALBUQUERQUE, et al., 1994) e Latossolos (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; CAMPOS et al., 1995).

Contudo, Eltz et al. (1989) estudando Latossolo Bruno em Guarapuava (PR) não encontraram diferenças significativas no teor de carbono entre sistemas de manejo, mas o sistema de PD apresentou DMG superior em relação ao plantio convencional. Campos et al. (1999) avaliando o efeito de diferentes plantas de cobertura na agregação em um Argissolo de textura média a arenosa observou que o DMG dos agregados foi pouco influenciado pelo teor de carbono orgânico, provavelmente em função da pequena variação desse conteúdo, o qual não foi

suficiente para influenciar na estabilidade de agregados. Em um Argissolo Vermelho franco-arenoso, Cruz et al. (2003) encontraram maior teor de carbono orgânico no PD, mas isso não resultou em diferenças no DMG.

Martins et al. (2002) encontraram DMG maior em povoamento de mata nativa do que em povoamentos de *Eucalyptus sp.*, *Pinus sp.* e *Hevea brasiliensis*. Segundo esses autores, a mata nativa apresenta maior grau de estruturação do solo devido à ampla diversidade de espécies arbóreas de diferentes sistemas radiculares e grande formação de serapilheira sob a superfície, os quais favorecem a atividade dos organismos do solo. Além disso, a área sofreu mínimas intervenções antrópicas preservando a estrutura do solo. Entre os povoamentos exóticos, o *Eucalyptus sp.* demonstrou DMG superior.

### **3.5 Efeito do preparo do solo no crescimento inicial de florestas plantadas**

Segundo Schneider (1993) os principais fatores que influenciam na sobrevivência das plantas de um povoamento e que devem ser consideradas são:

- a) Método e intensidade de preparo do solo;
- b) O clima no momento do plantio e meses seguintes;
- c) Aspectos físicos, químicos e biológicos do solo;
- d) Grau de exposição do solo;
- e) A natureza dos 0,10 m superficiais do solo e no solo em geral;
- f) A idade das mudas, os procedimentos de manejo das mudas do viveiro ao povoamento e a época de plantio.

Além desses, existem fatores que atuam também quando o povoamento já está estabelecido como a densidade, mortalidade por enfermidades e pragas e por danos e incêndios. Quando os povoamentos tornam-se superestocados, a mortalidade ocorre por supressão, insetos e doenças, ou por quebras, quando as árvores são muito finas e altas (TONINI, 2003).

O crescimento de raízes, o desenvolvimento e a produção das culturas são influenciados pelo nível de compactação do solo, dependendo do sistema de manejo utilizado (FERNANDES et al., 1983; SILVA et al., 2000). Nesses estudos, os mesmos autores verificaram que a densidade do solo foi influenciada pelos sistemas

de preparo do solo convencional, cultivo mínimo e plantio direto. Além disso, observaram que o plantio direto possui uma distribuição de poros mais uniforme com a profundidade, refletindo a melhor estruturação natural desse solo.

A consequência direta da compactação do solo reflete-se no impacto causado sobre o desenvolvimento do sistema radicular das árvores. A expansão das raízes na busca por água e nutrientes pode ser prejudicada, com consequente redução no crescimento da parte aérea, devido à compactação aumentar a resistência do solo e diminuir o número de macroporos, a taxa de alongamento radicular é reduzida exponencialmente com o aumento da resistência do solo.

Segundo Gonçalves et al. (2002) para o estabelecimento e regeneração dos sítios florestais, o uso do ripper e do subsolador estão entre os métodos mais utilizados, pois são caracterizados como operações que melhoram a sobrevivência e o crescimento das mudas, proporcionando, dessa forma, melhor distribuição do sistema radicular no solo. Além disso, reduzem os riscos de erosão nos povoamentos florestais do plantio até a cobertura do solo, devido ao menor revolvimento e exposição do mesmo ao impacto das gotas da chuva.

Finger et al. (1996) verificaram efeito positivo da subsolagem no crescimento inicial do *E. grandis* em um solo Podzólico (Argissolo) com presença de camada de impedimento. Eles observaram aumento em diâmetro e altura no solo subsolado em relação ao não preparado, de cerca de 50 e 35 %, respectivamente.

Dedecek et al. (2004) estudando diferentes sistemas de manejo do solo para plantio de acácia-negra, verificaram que o crescimento inicial das mudas plantadas com abertura de covas (PD) foi mais lento do que comparado com os tratamentos que receberam subsolagem. Esses autores argumentam que o PD proporciona um estabelecimento mais lento do sistema radicular, além de maior competição sofrida com a vegetação espontânea. Já Cavichiolo et al. (2005) observaram que na rebrota de *E. saligna* em solo de textura média não houve diferença de incremento em altura e Dap entre os sistemas de manejo PD e subsolado, o que seria dispensável a aplicação de manejo nesse solo. Gonçalves et al. (2000) relatam que o eucalipto tem desenvolvimento inicial menor e mais heterogêneo em plantios adotando sistemas de cultivo mínimo (somente sulcagem) se comparado com sistemas de revolvimento intensivo do solo (sulcagem mais gradagem).

No desenvolvimento do eucalipto em Areia Quartzosa (Neossolo Quartzarênico), ZEN (1992) concluiu que na fase inicial das plantas, a parcela que

recebeu queima e incorporação de matéria orgânica apresentou superioridade de 20% sobre aquela com cultivo mínimo. Entretanto, aos 6,6 anos de idade a produtividade se igualou, desaparecendo as vantagens iniciais. Resultados semelhantes foram observados por Gatto et al. (2003), onde verificaram que o estabelecimento inicial das mudas de *E. grandis* e seu crescimento pós-plantio foram favorecidos pela queima dos resíduos e pelo revolvimento do solo, o qual foi relacionado à maior disponibilidade de nutrientes e redução das plantas competidoras nesses sistemas. Wichert (2005) analisando crescimento de *E. grandis* submetido a diferentes sistemas de manejo do solo em Argissolo verificou que as maiores diferenças nas variáveis de crescimento ocorreram no período inicial de crescimento da floresta, entre os 3 a 6 meses de idade.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Solo e tratamentos

O experimento foi conduzido na área experimental pertencente à FEPAGRO FLORESTAS – Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisas de Recursos Florestais, localizado no município de Santa Maria, região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul. O Centro de Pesquisas encontra-se localizado entre as coordenadas geográficas 29°40'31" de latitude sul e 53°54'45" de longitude oeste de Greenwich, altitude média de 130 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido, sem estiagens. Tem como características climáticas principais a temperatura média anual de 19°C, precipitação média anual de 1.769 mm e umidade relativa de 82 % (MORENO, 1961). A vegetação natural predominante é a de campo. As matas nativas são representadas apenas por formações de galerias ao longo de cursos d'água (ABRÃO et al., 1988).

O solo estudado é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (EMBRAPA, 1999), pertencente à Unidade de Mapeamento São Pedro (BRASIL, 1973). Esta unidade de mapeamento caracteriza-se por apresentar solos mediamente profundos, não hidromórficos, avermelhados, textura superficial franco arenosa, friáveis e bem drenados e possuem B textural. São solos ácidos e pobres em matéria orgânica (STRECK et al., 2002).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com os seguintes tratamentos:

- Plantio direto (PD);
- Escarificado (Esc);
- Escarificado mais grade niveladora (EG);
- Enxada rotativa (ER).

Os tratamentos foram distribuídos em três blocos com parcelas de 20 x 30 metros. A área utilizada para o experimento encontrava-se em pousio a mais de 20 anos e não apresentava características de degradação, sua cobertura vegetal era de gramíneas nativas. A aplicação dos tratamentos foi precedida por roçada mecânica

em toda a área e, posteriormente, iniciou-se o controle de formigas cortadeiras com uso de formicida pó e iscas granuladas na área do experimento e adjacentes.

O experimento foi instalado em novembro de 2006, as análises das propriedades físicas do solo e do crescimento inicial do *E. grandis* foram realizadas até novembro de 2007, completando um período de um ano de avaliações. Foram realizadas três coletas de solo em épocas distintas para posterior determinação das propriedades físicas: época 1, antes da aplicação dos tratamentos, com o objetivo de caracterizar a área experimental; época 2, três meses após instalação do experimento e época 3, doze meses após instalação do experimento.

O plantio direto caracterizou-se por receber coveamento manual com auxílio de um trado e posterior aplicação de herbicida dessecante (glifosato) numa faixa de 1 metro de largura, somente na linha de plantio, com objetivo de evitar a competição com a vegetação.

Para a aplicação dos tratamentos foi utilizado um trator Valmet 110. A escarificação foi realizada com escarificador de 1 haste inclinada do tipo “jumbo” até uma profundidade de 0,30 metros, espaçadas a cada 3,0 metros. No escarificado mais gradagem, a escarificação foi seguida por uma passagem de grade de disco “off-set” ou em “V” com uma profundidade de operação de 0,10 m. O preparo com enxada rotativa mobilizou uma faixa de 1,0 m de largura e 0,20 m de profundidade.

As mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden utilizadas no experimento foram adquiridas da Tecnoplanta Florestal LTDA, do município de Barrado Ribeiro (RS). Essas foram produzidas a partir de sementes oriundas de pomar clonal da Rigesa. O plantio foi realizado no dia 28/11/2006, com espaçamento de 3,0 x 2,0 m com cada parcela composta por 100 plantas, distribuída em 10 linhas com 10 plantas em cada linha. Somente as 36 plantas centrais foram consideradas nas avaliações dendrométricas, as demais foram deixadas como bordadura dupla. Considerando uma área de 6,0 m<sup>2</sup> por planta, cada parcela ocupou uma área de 600 m<sup>2</sup>, o que totaliza 0,72 ha de área experimental.

Após a implantação do experimento, este foi acompanhado diariamente quanto ao ataque de formigas e a sobrevivência, sendo necessário efetuar um replantio na ordem de 15 % no primeiro mês, devido, principalmente, ao ataque de formigas e condições climáticas adversas (baixas precipitações e altas temperaturas) (Anexo D). Trinta dias após o plantio, as mudas receberam adubação de NPK usando-se a fórmula 33-80-18, o qual equivale em torno de 218 kg ha<sup>-1</sup>, o

qual foi baseado na recomendação do CQFS-RS/SC (2004). Realizaram-se duas roçadas mecânicas na entrelinha, sendo a primeira efetuada dois meses após o plantio e a segunda 5 meses após, além de reaplicação de herbicida glifosato no tratamento PD, a fim de reduzir ou evitar o efeito da mato-competição.

## 4.2 Propriedades físicas avaliadas

Para a análise granulométrica e química foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 m. A determinação da granulometria do solo consistiu na quantificação do teor de argila (< 0,002 mm), silte (0,05 a 0,002 mm), areia fina (0,20 a 0,05 mm) e areia grossa (> 0,20 mm), segundo o método da pipeta (EMBRAPA, 1997), com duas repetições (Tabela 1). Foi utilizado como dispersante o NaOH e não se realizou a queima da matéria orgânica.

**Tabela 1 – Distribuição de tamanho de partículas nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 m.**

Camada (m)	Areia			Silte	Argila
	Grossa	Fina	Total		
	g kg <sup>-1</sup>				
<b>0,00-0,10</b>	252	389	641	224	135
<b>0,10-0,20</b>	251	403	654	187	159
<b>0,20-0,30</b>	242	390	632	188	180
<b>0,30-0,40</b>	232	396	628	184	188

Foram tomadas 12 amostras simples para cada amostra composta para a determinação das propriedades químicas do solo (Tabela 2). Pelo resultado da análise química, o solo apresenta, para os padrões florestais, média a baixa fertilidade, quanto aos teores de N, P, K e Ca (CQFS-RS/SC, 2004). Diante disso, fez-se a correção da fertilidade conforme adubação anteriormente citada.

**Tabela 2 – Atributos químicos do solo nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m.**

Camada	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	m	v
m	H <sub>2</sub> O	%	--mg dm <sup>-3</sup> --		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			-----%-----	
0,00-0,10	4,4	1,8	6,8	96	0,9	0,5	6,2	41	21
0,10-0,20	4,5	1,3	1,5	56	0,7	0,4	6,9	56	15
0,20-0,30	4,4	1,3	1,5	32	0,6	0,3	10,9	66	8
0,30-0,40	4,5	1,3	1,5	44	0,9	0,3	8,7	62	13

Sendo: MO = matéria orgânica; m = saturação por Al; V = saturação por bases.

#### 4.2.1 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo

Foram coletadas amostras com estrutura preservada em três épocas distintas: época 1 – aos 3 meses após instalação do experimento; época 2 – aos 6 meses e época 3 – aos 12 meses. Utilizou-se para tal, cilindros metálicos de 0,06 m de diâmetro e 0,05 m de altura em quatro camadas (0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 m) na linha e na entrelinha, sendo realizadas as seguintes determinações: densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

#### 4.2.2 Distribuição do tamanho de agregados e carbono orgânico do solo

Em laboratório, amostras de solo foram separadas manualmente observando a superfície de clivagem, a fim de obter agregados de tamanho menor que 8 mm. A separação e estabilidade estrutural em água foram determinados pelo método modificado de Kemper; Chepil (1965). Para essa determinação os agregados foram agitados em um aparelho de oscilação vertical (Yoder, 1936), com peneiras de malha de 4,76; 2,00; 1,00 e 0,25 mm.

A estabilidade estrutural foi expressa pelo diâmetro médio geométrico (DMG) e percentagem de agregados (AGRi) por classe de tamanho, ou seja, a 8,00-4,76; 4,76-2,00; 2,00-1,00; 1,00-0,25 e menor que 0,25mm. As equações utilizadas para efeitos de cálculos seguiram as proposições da metodologia de Tisdall et al. (1978):

$$DMG = EXP \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (AGR_i \times LN_{(ci)})}{\sum_{i=1}^n AGR_i} \right]$$

$$AGR_i(\%) = \frac{mAGR_i}{\sum_{i=1}^n AGR_i}$$

Sendo: DMG = diâmetro médio geométrico do tamanho dos agregados;  $mAGR_i$  = massa de agregados da classe  $i$  (menos areias);  $\sum_{i=1}^n AGR_i$  = massa total de agregados (menos areias); LN = logaritmo neperiano;  $c_i$  = valor médio de classe de agregados  $i$ ;  $AGR_i$  (%) = percentagem de agregados por classe de tamanho.

As amostras com estrutura alterada foram passadas por peneira de malha de 2 mm. Realizou-se a determinação do teor de carbono orgânico do solo pelo método de combustão úmida descrito em Embrapa (1997) modificado por Santos et al. (2008).

#### 4.2.3 Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi determinada com o auxílio de um penetrômetro digital (modelo Remik CP 20 Ultrasonic Cone Penetrometer) de armazenamento eletrônico dos dados, possuindo ponta cônica com ângulo de penetração 30°. As leituras foram realizadas a cada 0,015 m de profundidade até 0,60 m e, a RP medida a cada 0,20 m de distância perpendicular à linha de plantio. Para obtenção da umidade gravimétrica, concomitante às medidas de RP, foram coletadas amostras de solo, com trado calador, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m. A RP foi realizada aos quatro e aos nove meses após instalação do experimento.

#### 4.2.4 Avaliação do desenvolvimento inicial do eucalipto

Foram realizadas medições de altura, diâmetro do colo, diâmetro a 0,10 m de altura e altura total de todas as árvores da parcela útil aos 3, 6, 9 e 12 meses de idade do plantio de *E. grandis*. Aos 12 meses foi mensurado também o diâmetro à altura do peito (Dap). Para tal, foi utilizado um paquímetro digital e régua telescópica.

##### 4.2.3.1 Sobrevivência (s%)

A sobrevivência, em porcentagem, foi determinada pela diferença entre o número de árvores esperadas na área útil da parcela e o número de árvores existentes na área útil da parcela, aos 12 meses.

$$s\% = \frac{n_i}{36} \times 100$$

Sendo:

$s\%$  = sobrevivência em porcentagem;

$n_i$  = número de árvores vivas na parcela no momento da medição.

##### 4.2.3.2 Área basal por hectare (G)

A área basal individual das árvores foi obtida com a seguinte fórmula (FINGER, 1992):

$$g_i = \frac{\Pi \cdot d_i^2}{4}$$

Sendo:  $g_i$  = área basal;  $d$  = diâmetro ao nível de Dap.

A área basal média das árvores, na unidade experimental, foi obtida pela divisão do somatório das áreas basais da unidade experimental pelo número de árvores da unidade experimental:

$$\bar{g}_i = \frac{\sum g_i}{n_i}$$

Sendo:  $\bar{g}_i$  = área basal média da unidade experimental;  $\sum g_i$  = somatório das áreas basais da unidade experimental;  $n_i$  = número de árvores da unidade experimental.

A área basal por hectare, por unidade experimental ( $G_i$ ), foi determinada pela multiplicação da área basal média individual ( $\bar{g}_i$ ) das árvores da parcela  $i$  pelo número de árvores por hectare da unidade experimental:

$$G_i = \bar{g}_i * N_i$$

Sendo:  $G_i$  = área basal por hectare por parcela;  $\bar{g}_i$  = área basal média da unidade experimental;  $N_i$  = número de árvores por hectare da unidade experimental.

#### 4.2.3.3 Volume por hectare (V)

O volume por hectare, por unidade experimental, foi obtido pela multiplicação da área basal por hectare da parcela  $i$  ( $G_i$ ) pela altura das árvores da unidade experimental:

$$V_i = G_i * h_i$$

Sendo:  $V_i$  = volume por hectare por parcela;  $G_i$  = área basal por hectare por parcela;  $h_i$  = altura das árvores da unidade experimental.

#### 4.2.3.4 Distribuição do sistema radicular do *E. grandis* e biomassa aérea

Quando a cultura do eucalipto se encontrava com 8 meses de idade, selecionou-se as plantas com altura média de cada parcela para realizar a avaliação da distribuição do sistema radicular nos diferentes tratamentos, usando o método do perfil descrito por Böhm (1979). O perfil foi feito perpendicularmente à linha de plantio, com a parede vertical distante 0,05 m da planta. Foram utilizadas varetas de metal para retirar uma camada de aproximadamente 0,015 m do perfil, expondo

cuidadosamente as raízes. Após a exposição das raízes, foi utilizado um retângulo de 1,00 x 0,60 m subdividido com fio de náilon formando uma malha de 0,05 x 0,05 m para desenhar e fotografar com máquina digital a distribuição radicular no perfil.

Nestas mesmas plantas foi determinada a biomassa aérea, sendo separadas todas as folhas, galhos e tronco. Todos esses componentes foram pesados separadamente a fim de obter a massa fresca, posteriormente foram secas em estufa com temperatura de 60° C, até atingirem peso constante, os quais foram novamente pesados, obtendo o peso da massa seca.

#### 4.2.5 Análise estatística

Os resultados obtidos para densidade, porosidades, resistência à penetração e crescimento do eucalipto foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância para a comparação entre tratamentos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Propriedades físicas do solo

Os tratamentos não apresentaram diferença de densidade de partículas ( $D_p$ ) (Tabela 3), e também não houve interação significativa entre tratamento e profundidade. Os tratamentos demonstraram uma pequena tendência de aumentar ao longo da profundidade, o que deve estar associada ao decréscimo de matéria orgânica ou aumento da fração argila.

Tabela 3 – Densidade de partículas ( $Mg\ m^{-3}$ ) dos diferentes tratamentos, nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m.

Camada (m)	Manejo				Média
	PD	Esc	EG	Grot	
0,00-0,10	2,55	2,54	2,54	2,54	2,54
0,10-0,20	2,57	2,54	2,52	2,54	2,54
0,20-0,30	2,57	2,56	2,54	2,59	2,56
0,30-0,40	2,54	2,56	2,58	2,54	2,56
<b>Média</b>	2,56	2,55	2,55	2,55	

A resistência à penetração apresentada na Figura 1 evidencia a ação dos diferentes implementos bem como a profundidade atingida pelo mesmo no momento do preparo do solo. Na época 2, a RP nos teores de água considerados, foi máxima na profundidade de 0,40 m nos tratamentos PD, Esc e EG com valores de 1,69, 1,80 e 1,65 MPa, respectivamente. Já, para o tratamento ER o valor máximo encontrado foi na profundidade de 0,20 m, sendo este 1,79 MPa. Todavia, a diferença entre os tratamentos ocorreu da superfície até 0,28 m de profundidade. Esses resultados estão de acordo com Martins et al. (2002), o qual observou que a resistência foi maior na camada de 0,15 a 0,40 m, atribuindo ao tráfego de máquinas e a não mobilização do solo nessa camada. Porém, nas condições de umidade no momento da avaliação, nenhum dos tratamentos superou os valores de RP limite de 2,0 MPa

considerado por Taylor et al. (1966) como crítico ao desenvolvimento radicular das plantas.

O maior estado de compactação observado na profundidade de 0,40 m para os tratamentos Esc e EG e aos 0,20 m para o manejo ER, deve-se ao efeito cumulativo de pressões e máquinas que o solo recebeu na ocasião do preparo na implantação do povoamento (MARTINS et al., 2002) e, ainda, à acomodação natural das partículas (CARVALHO JÚNIOR et al., 1998).

Os menores valores numéricos de RP foram até a profundidade de 0,20 m para o solo escarificado (Esc e EG). Segundo Abreu (2004) a ação do escarificador mobiliza o solo e reduz a coesão entre as partículas, e mesmo após a reconsolidação, o solo possui baixa coesão.

Para a RP aos 12 meses após a implantação do experimento (Figura 2), verificamos que ocorre um decréscimo da RP em todos os tratamentos, devido à umidade do solo estar na capacidade de campo em todas as profundidades. Nesta época, os maiores valores de RP encontrados foram nos tratamentos PD e ER, com 1,52 e 1,50 MPa, respectivamente, na profundidade de 0,40 m. Nos tratamentos Esc e EG, os maiores valores de RP encontrados foi na profundidade de 0,35 m, com 1,34 e 1,29 MPa, respectivamente. No entanto, a diferença de RP entre tratamentos foi pequena não demonstrando valores que indiquem problemas para o bom desenvolvimento radicular.

A resistência do solo aumenta em função de sua densidade, e diminui com o aumento da macroporosidade e porosidade total do solo, revelando boa correlação com essas variáveis (Tabela 4), avaliadas na linha de plantio, para as épocas 2 e 3. Cavichiolo et al. (2003) encontraram correlação significativa entre RP e densidade do solo. A linha de plantio, em todos os tratamentos, apresentou uma menor RP, embora o PD demonstrou diferença significativa, com valores superiores em relação aos demais tratamentos.

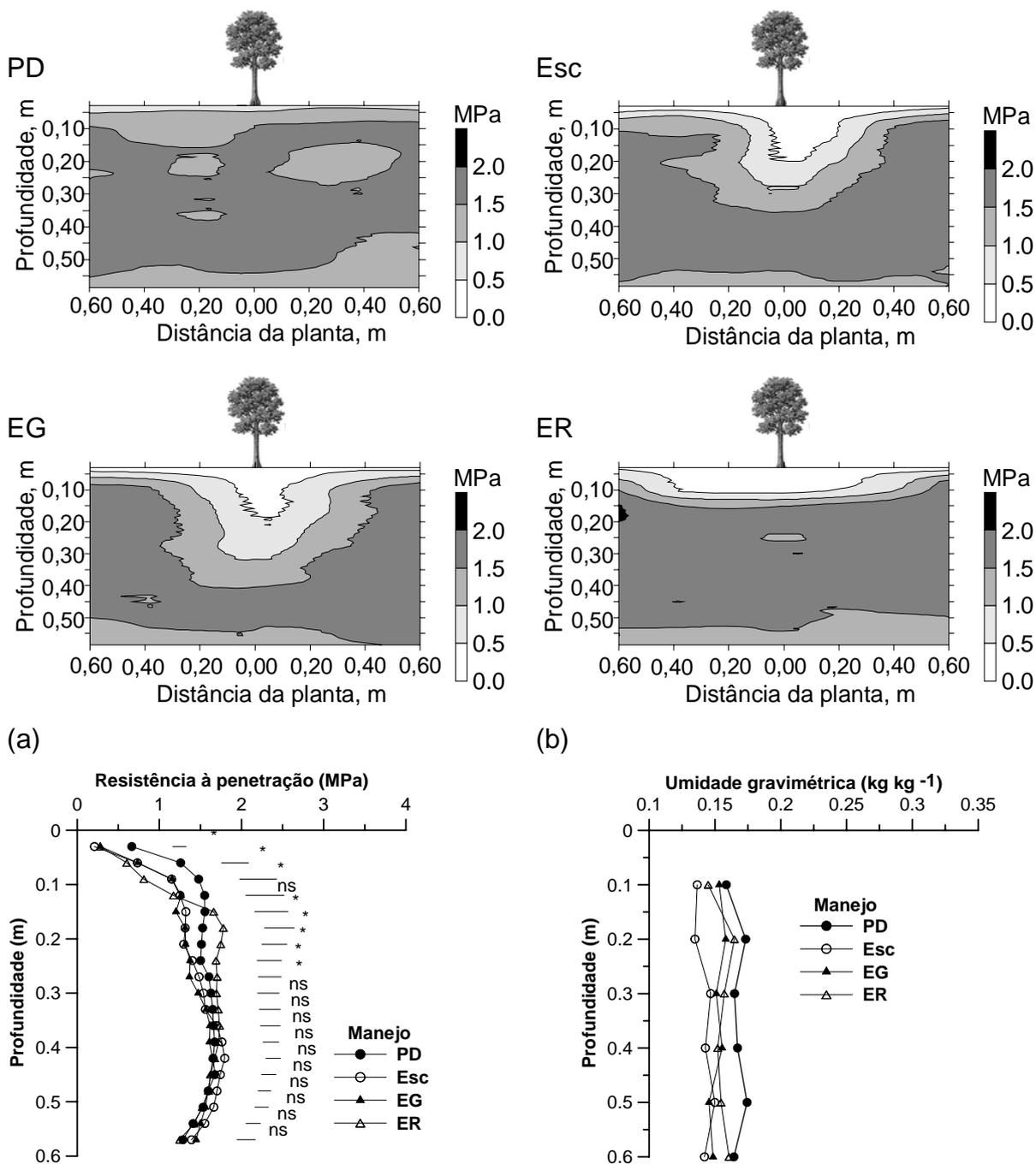


Figura 1 – Resistência do solo à penetração na época 2 (aos 3 meses de idade), para o plantio direto (PD), escarificado (Esc), Escarificado + grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER). Médias de RP para os diferentes tratamentos (a) e umidade do solo (b) no momento da avaliação.

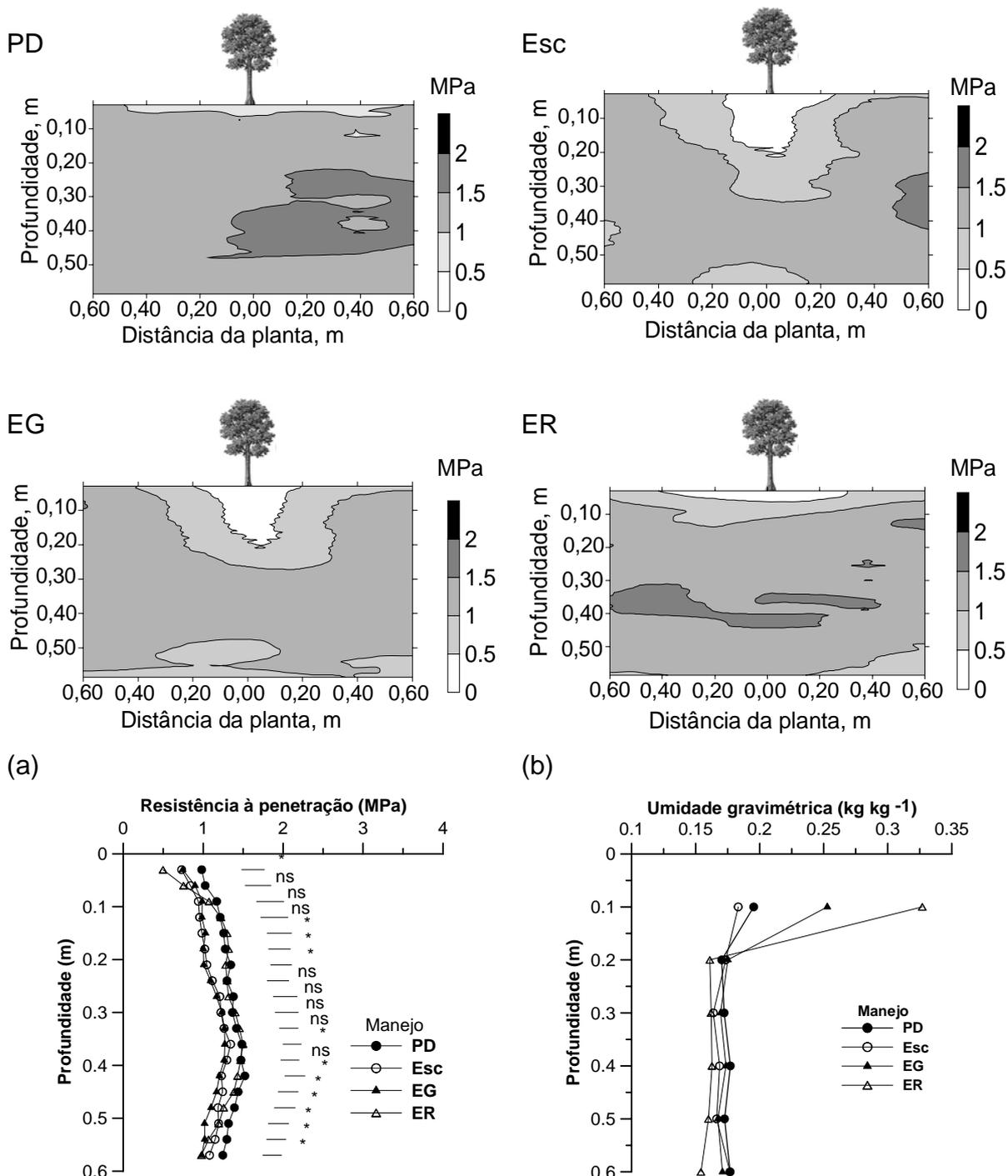


Figura 2 – Resistência do solo à penetração na época 3 (aos 12 meses de idade), para o plantio direto (PD), escarificado (Esc), Escarificado + grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER). Médias de RP para os diferentes tratamentos (a) e umidade do solo (b) no momento da avaliação.

Tabela 4 – Correlações entre a resistência do solo à penetração e atributos físicos do solo.

DL (m)	DS	Macro	Micro	PT
<b>Época 2</b>				
<b>0,00</b>	0,76*	-0,80*	0,55 <sup>ns</sup>	-0,75*
<b>0,20</b>	0,39 <sup>ns</sup>	-0,43 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>
<b>0,40</b>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>
<b>0,60</b>	0,007 <sup>ns</sup>	-0,004 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>
<b>Época 3</b>				
<b>0,00</b>	0,61*	-0,70*	0,60*	-0,64*
<b>0,20</b>	0,14 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>
<b>0,40</b>	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>
<b>0,60</b>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>

\* significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo. DL = distância da linha; Ds = densidade do solo; Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade; PT = porosidade total.

Houve interação significativa para a densidade do solo entre preparo e época de avaliação nas camadas de 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m (Tabela 5). Independentemente do manejo aplicado e da época de avaliação, a densidade foi menor na camada superficial de 0,00-0,10 m. Isso provavelmente decorreu devido à maior quantidade de resíduos vegetais sobre o solo, favorecendo a redução da ação do peso das máquinas no momento do preparo, protegendo a superfície. Além disso, Cavichiolo (2005) relata que na superfície do solo ocorrem com maior frequência os processos de umedecimento e secagem, facilitando a recuperação da sua estrutura nessa camada. Observamos ainda que, após um ano da aplicação do manejo os efeitos sobre a densidade persistem, o que está de acordo com Câmara; Klein (2005) e Piece et al. (1992) os quais relataram que o efeito da escarificação pode persistir por anos em solo franco-arenoso.

Nos tratamentos escarificados ocorre redução da densidade do solo na época 2 e após um ano de avaliação, verifica-se um pequeno aumento nesse valor, porém sempre abaixo do valor inicial, fato esse verificado em todas as profundidades avaliadas, com exceção da camada de 0,00-0,10 m. Contudo, os valores de densidade do solo encontrados são menores que o valor considerado crítico ( $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$ ) para solos com textura arenosa, proposto por Reichert et al. (2003). Observa-se ainda que, a densidade do solo aumenta com a profundidade, essa tendência também foi observada por Riquelme (2004) analisando diferentes sistemas de manejo para a cultura do feijoeiro em um Argissolo em Santa Maria, RS.

Segundo Suzuki (2005), alterações na densidade do solo em profundidade é função da tendência natural do solo e do manejo adotado.

**Tabela 5 –Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) determinada na linha de plantio para os diferentes manejos, épocas de amostragem, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.**

Época	Manejo				Média
	PD	Esc	EG	ER	
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
1	1,52Aa	1,48Aa	1,43Aa	1,45Aa	1,47
2	1,50Aa	1,29ABab	1,26Aab	1,12Bb	1,29
3	1,17Ba	1,19Ba	1,29Aa	1,15Ba	1,20
<b>Média</b>	1,40	1,32	1,33	1,24	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
1	1,57	1,56	1,53	1,53	1,55
2	1,58	1,37	1,32	1,52	1,45
3	1,50	1,39	1,40	1,50	1,45
<b>Média</b>	1,55	1,44	1,42	1,52	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
1	1,52Aa	1,54Aa	1,50Aa	1,48Aa	1,51
2	1,57Aa	1,24Bb	1,35Aab	1,52Aa	1,42
3	1,49Aa	1,47Aa	1,42Aa	1,46Aa	1,46
<b>Média</b>	1,53	1,42	1,42	1,49	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
1	1,57	1,56	1,52	1,53	1,54
2	1,58	1,38	1,46	1,56	1,49
3	1,53	1,45	1,52	1,52	1,50
<b>Média</b>	1,56	1,46	1,50	1,54	

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%. Época 1 = antes do preparo do solo; época 2 = aos 3 meses e época 3 = aos 12 meses após aplicação dos tratamentos.

O valor máximo de densidade ocorreu no tratamento PD em todas as camadas avaliadas em relação aos tratamentos revolvidos, corroborando com Cavichiolo (2005). Na camada mais profunda de 0,30-0,40 m, os resultados de densidade do solo encontrados foram sempre os maiores, porém Cavichiolo (2003), Dedecek; Gava (2005), Rigatto et al. (2005) encontraram os maiores valores na camada de 0,20-0,30 m e, conforme descreve Cavichiolo (2003) o conteúdo de

matéria orgânica, o qual favorece a recuperação da estrutura do solo é menor quanto maior a profundidade.

Para a macroporosidade do solo não ocorreu interação significativa entre manejo e época de avaliação (Tabela 6). Os menores valores foram encontrados na profundidade de 0,30-0,40 m, fato associado à maior densidade nessa camada, sendo que na época 3, todos os tratamentos apresentaram valores abaixo do considerado mínimo ( $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para o crescimento e desenvolvimento satisfatório das plantas nessa profundidade (VOMOCIL; FLOCKER, 1966). O PD apresentou em todas as épocas avaliadas e profundidades, com exceção da camada de 0,00-0,10 m, valores inferiores ou próximos ao considerado mínimo para um adequado crescimento e desenvolvimento das plantas.

**Tabela 6 – Macroporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) determinada na linha de plantio para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.**

Época	Manejo				Média
	PD	Esc	EG	ER	
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
1	0,10	0,11	0,14	0,14	0,12b
2	0,10	0,20	0,24	0,27	0,20a
3	0,21	0,23	0,18	0,23	0,21a
<b>Média</b>	0,13b	0,18ab	0,19ab	0,21a	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
1	0,12	0,09	0,14	0,13	0,12
2	0,07	0,18	0,22	0,11	0,15
3	0,07	0,14	0,12	0,10	0,11
<b>Média</b>	0,09b	0,14ab	0,16a	0,11ab	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
1	0,11	0,09	0,14	0,14	0,12ab
2	0,07	0,23	0,18	0,12	0,15a
3	0,06	0,09	0,11	0,12	0,10b
<b>Média</b>	0,08b	0,14a	0,14a	0,12ab	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
1	0,10	0,09	0,12	0,11	0,11a
2	0,06	0,17	0,13	0,09	0,11a
3	0,05	0,09	0,05	0,09	0,07b
<b>Média</b>	0,07b	0,12a	0,10ab	0,09ab	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

A maior microporosidade ocorreu na camada 0,00-0,10 m, com valores significativamente diferentes e menores na época 2 e 3, ou seja, após a aplicação dos preparos. Considerando os sistemas de manejo, a microporosidade não diferiu estatisticamente entre os tratamentos em todas as camadas avaliadas. Entretanto, a é estatisticamente diferente na época 2 em relação às demais, ou seja, após a aplicação do manejo os valores diminuíram, com um posterior aumento tendendo à microporosidade inicial (Tabela 7).

**Tabela 7 – Microporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) determinada na linha de plantio para os diferentes manejos, épocas de amostragem, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.**

Época	Manejo				Média
	PD	Esc	EG	ER	
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
1	0,31	0,31	0,30	0,28	0,30a
2	0,27	0,25	0,23	0,24	0,25b
3	0,28	0,26	0,26	0,29	0,27ab
<b>Média</b>	0,29	0,27	0,26	0,27	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
1	0,27	0,27	0,25	0,25	0,26a
2	0,25	0,24	0,23	0,24	0,24b
3	0,27	0,25	0,27	0,25	0,26a
<b>Média</b>	0,26	0,25	0,25	0,25	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
1	0,260	0,265	0,262	0,243	0,26a
2	0,250	0,240	0,240	0,240	0,24b
3	0,264	0,267	0,268	0,241	0,26a
<b>Média</b>	0,258	0,257	0,256	0,241	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
1	0,27	0,27	0,25	0,25	0,26a
2	0,26	0,25	0,24	0,24	0,25b
3	0,26	0,26	0,28	0,25	0,27a
<b>Média</b>	0,26	0,26	0,26	0,25	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

A porosidade total (Tabela 8) na camada de 0,00-0,10 m apresentou os maiores valores comparada com as demais, independentemente da época avaliada e do manejo, o que está relacionado com a menor densidade do solo nessa camada,

fato também verificado por Rigatto et al. (2005). Em relação ao sistema de manejo, o tratamento sem mobilização (PD) resultou em menor porosidade total, com alguns valores abaixo da faixa ideal proposta por Prevedello (1996), sendo de 0,35-0,50 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para solos arenosos, principalmente nas camadas mais profundas. Conforme Secco et al. (2005), a mobilização do solo resulta em aumento no volume de poros do solo.

**Tabela 8 – Porosidade total do solo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) determinada na linha de plantio para os diferentes manejos, épocas de amostragem, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.**

Época	Manejo				Média
	PD	Esc	EG	ER	
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
1	0,41ABa	0,42Aa	0,44Aa	0,42Aa	0,42
2	0,37Bb	0,45Aab	0,47Aab	0,51Aa	0,45
3	0,49Aa	0,49Aa	0,44Aa	0,53Aa	0,49
<b>Média</b>	0,42	0,45	0,45	0,49	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
1	0,38	0,37	0,39	0,38	0,38
2	0,33	0,42	0,45	0,36	0,39
3	0,34	0,40	0,39	0,36	0,37
<b>Média</b>	0,35b	0,39ab	0,41a	0,36ab	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
1	0,37	0,36	0,40	0,38	0,38ab
2	0,33	0,47	0,42	0,37	0,40a
3	0,32	0,35	0,38	0,36	0,36b
<b>Média</b>	0,34b	0,39a	0,40a	0,37a	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
1	0,36	0,36	0,38	0,36	0,36
2	0,32	0,42	0,38	0,33	0,36
3	0,31	0,35	0,33	0,34	0,33
<b>Média</b>	0,33	0,38	0,36	0,34	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

A densidade do solo determinada na linha e entrelinha do plantio (Tabela 9) apresentou interação entre manejo e local somente na camada de 0,20-0,30 m. Nessa, os menores valores de densidade foram encontrados nos manejos Esc e EG na linha de plantio. Na camada de 0,00-0,10 m o ER apresentou a menor densidade

do solo com  $1,24 \text{ Mg m}^{-3}$  e o PD o maior valor com  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ . A densidade do solo determinada na linha de plantio para essa camada foi menor, com  $1,29 \text{ Mg m}^{-3}$ .

O PD apresentou em todas as camadas, exceto na superfície, tanto na linha quanto na entrelinha de plantio, valores de macroporosidade abaixo do valor considerado crítico para um adequado crescimento das plantas ( $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (Tabela 9). Na camada de 0,00-0,10 m, a maior macroporosidade foi encontrada no manejo ER, provavelmente em função do maior revolvimento do solo que este manejo provocou em superfície. Para as demais camadas, o Esc e o EG apresentaram os maiores valores de macroporosidade. A macroporosidade do solo foi sempre menor quando medida na entrelinha de plantio, sendo que nas camadas 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m esses valores foram abaixo do considerado crítico para o bom desenvolvimento das plantas.

Tabela 9 – Densidade ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) e macroporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) aos 3 meses após a instalação do experimento (época 2), determinados na linha (L) e entrelinha (E) dos diferentes manejos, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.

Local	Manejo				Média
	PD	Esc	EG	ER	
<b>Densidade do solo (<math>\text{Mg m}^{-3}</math>)</b>					
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
E	1,40	1,37	1,45	1,35	1,39a
L	1,50	1,29	1,26	1,12	1,29b
<b>Média</b>	1,45a	1,33ab	1,36ab	1,24b	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
E	1,58	1,63	1,57	1,54	1,58a
L	1,58	1,37	1,32	1,53	1,45b
<b>Média</b>	1,58	1,50	1,45	1,53	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
E	1,57Aa	1,55Aa	1,54Aa	1,54Aa	1,55
L	1,57Aa	1,24Bb	1,35Aab	1,52Aa	1,42
<b>Média</b>	1,57	1,39	1,44	1,53	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
E	1,52	1,57	1,50	1,54	1,54
L	1,58	1,38	1,46	1,56	1,49
<b>Média</b>	1,55	1,48	1,48	1,55	
<b>Macroporosidade (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>					
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
E	0,11	0,12	0,14	0,17	0,14a
L	0,09	0,20	0,24	0,27	0,20b
<b>Média</b>	0,11	0,16	0,19	0,22	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
E	0,09	0,09	0,09	0,12	0,10
L	0,07	0,18	0,22	0,11	0,14
<b>Média</b>	0,08b	0,14a	0,16a	0,11ab	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
E	0,07	0,11	0,08	0,12	0,09b
L	0,07	0,23	0,18	0,12	0,15a
<b>Média</b>	0,07b	0,17a	0,13a	0,12ab	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
E	0,08	0,09	0,08	0,10	0,09
L	0,06	0,17	0,13	0,08	0,11
<b>Média</b>	0,07	0,13	0,11	0,09	

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

A microporosidade (Tabela 10) apresentou diferença estatística somente na camada de 0,00-0,10 m para o local, sendo na linha o menor valor com  $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e entrelinha  $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

A porosidade total apresentou interação significativa entre preparo e local na camada de 0,20-0,30 m. Nos manejos Esc e EG houve diferença entre os locais, sendo que na linha esses valores foram superiores. O PD, determinado na linha, apresentou o menor valor e diferiu estatisticamente dos demais. Na camada de 0,00-0,10 m houve diferença estatística entre manejo e local, o menor valor foi no PD e o maior no ER, para os locais a linha obteve a maior porosidade total. Na camada de 0,10-0,20 m, a linha apresentou o maior valor, com  $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  diferindo estatisticamente da entrelinha.

Na Tabela 11 estão apresentados os valores de densidade e macroporosidade do solo determinados na época 3. Houve diferença estatística entre os locais nas camadas 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m com menor valor de densidade na linha. A maior macroporosidade foi encontrada na linha de plantio na camada superficial. Em todas as camadas avaliadas, a macroporosidade determinada na entrelinha do plantio apresentou valores inferiores ao considerado mínimo por Vomocil; Flocker (1966) para um crescimento e desenvolvimento satisfatório das plantas, o qual é de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Segundo Oliveira et al. (1998), solos com porosidade de aeração menor que  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  comprometem o crescimento das plantas, pois o oxigênio que, além de necessário à respiração das raízes, também participa na geração de energia necessária à absorção de nutrientes minerais.

Para a propriedade microporosidade não houve diferença estatística entre preparo e local de avaliação (Tabela 12). Já, na porosidade total foi encontrada diferença estatística entre local de coleta na camada de 0,00-0,10, sendo na entrelinha os menores valores.

Tabela 10 – Microporosidade e porosidade total do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) aos 3 meses após a instalação do experimento (época 2), determinados na linha (L) e entrelinha (E) dos diferentes manejos, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.

Local	Manejo				Média
	PD	Esc	EG	ER	
<b>Microporosidade (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>					
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
E	0,29	0,29	0,29	0,26	0,28a
L	0,27	0,25	0,23	0,24	0,25b
<b>Média</b>	0,28	0,27	0,26	0,25	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
E	0,25	0,25	0,25	0,23	0,25
L	0,25	0,24	0,23	0,24	0,24
<b>Média</b>	0,25	0,24	0,24	0,24	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
E	0,25	0,25	0,25	0,24	0,25
L	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24
<b>Média</b>	0,25	0,24	0,24	0,24	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
E	0,27	0,25	0,25	0,24	0,25
L	0,26	0,25	0,24	0,24	0,25
<b>Média</b>	0,26	0,25	0,25	0,24	
<b>Porosidade total (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>					
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
E	0,40	0,41	0,43	0,43	0,42b
L	0,37	0,45	0,47	0,51	0,45a
<b>Média</b>	0,39b	0,43ab	0,45a	0,47a	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
E	0,34	0,35	0,35	0,36	0,35B
L	0,33	0,42	0,44	0,35	0,39A
<b>Média</b>	0,33	0,39	0,40	0,35	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
E	0,33Aa	0,36Ba	0,32Ba	0,35Aa	0,34
L	0,33Ac	0,46Aa	0,42Aab	0,36Abc	0,39
<b>Média</b>	0,33	0,41	0,37	0,36	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
E	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34
L	0,32	0,42	0,37	0,33	0,36
<b>Média</b>	0,34	0,38	0,36	0,33	

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Tabela 11 – Densidade ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) e macroporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) aos 12 meses após a instalação do experimento (época 3), determinados na linha (L) e entrelinha (E) dos diferentes manejos, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.

Local	Manejo				Média
	PD	Esc	EG	ER	
<b>Densidade do solo (<math>\text{Mg m}^{-3}</math>)</b>					
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
E	1,45	1,50	1,43	1,49	1,47a
L	1,17	1,20	1,30	1,15	1,20b
<b>Média</b>	1,31	1,35	1,36	1,32	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
E	1,55	1,50	1,50	1,55	1,53
L	1,50	1,39	1,40	1,50	1,45
<b>Média</b>	1,52	1,45	1,45	1,53	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
E	1,54	1,50	1,55	1,56	1,54a
L	1,49	1,47	1,42	1,46	1,46b
<b>Média</b>	1,52	1,49	1,48	1,51	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
E	1,55	1,54	1,54	1,54	1,54
L	1,53	1,45	1,52	1,52	1,50
<b>Média</b>	1,54	1,50	1,53	1,53	
<b>Macroporosidade (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>					
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
E	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09b
L	0,21	0,23	0,18	0,23	0,21a
<b>Média</b>	0,15	0,16	0,13	0,16	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
E	0,07	0,10	0,09	0,07	0,08
L	0,07	0,14	0,12	0,10	0,11
<b>Média</b>	0,07b	0,12a	0,11ab	0,09ab	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
E	0,04	0,09	0,05	0,05	0,06
L	0,06	0,09	0,11	0,12	0,10
<b>Média</b>	0,05	0,09	0,08	0,09	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
E	0,04	0,06	0,05	0,06	0,05
L	0,05	0,09	0,05	0,09	0,07
<b>Média</b>	0,04	0,07	0,05	0,08	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Tabela 12 – Microporosidade e porosidade total do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) aos 12 meses após a instalação do experimento (época 3), determinados na linha (L) e entrelinha (E) dos diferentes manejos, nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.

Local	Manejo				Média
	PD	Esc	EG	ER	
<b>Microporosidade (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>					
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
E	0,30	0,29	0,30	0,29	0,29
L	0,28	0,26	0,26	0,29	0,27
<b>Média</b>	0,29	0,27	0,28	0,29	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
E	0,26	0,26	0,27	0,25	0,26
L	0,27	0,25	0,27	0,25	0,26
<b>Média</b>	0,27	0,26	0,27	0,25	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
E	0,27	0,26	0,27	0,26	0,27
L	0,26	0,27	0,27	0,24	0,26
<b>Média</b>	0,27	0,26	0,27	0,25	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
E	0,27	0,26	0,27	0,26	0,26
L	0,26	0,26	0,28	0,25	0,26
<b>Média</b>	0,26	0,26	0,27	0,25	
<b>Porosidade Total (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>					
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>					
E	0,39	0,38	0,39	0,37	0,38b
L	0,49	0,49	0,44	0,53	0,49a
<b>Média</b>	0,44	0,43	0,42	0,45	
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>					
E	0,33	0,36	0,36	0,33	0,34
L	0,34	0,40	0,39	0,36	0,37
<b>Média</b>	0,33	0,38	0,38	0,34	
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>					
E	0,31	0,35	0,33	0,31	0,33
L	0,32	0,35	0,38	0,36	0,35
<b>Média</b>	0,32	0,35	0,35	0,34	
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>					
E	0,30	0,32	0,32	0,32	0,32a
L	0,31	0,35	0,33	0,34	0,33a
<b>Média</b>	0,31	0,34	0,32	0,33	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

O solo sob PD apresentou o maior índice de agregação medido através do diâmetro médio geométrico (DMG), quando comparado com os demais sistemas, porém essa diferença não foi estatisticamente significativa (Tabela 13). Campos et al. (1995) obteve a mesma tendência, com maior DMG no sistema de plantio direto, sugerindo que esse resultado decorra devido à menor ação de implementos e a permanência de cobertura vegetal protegendo o solo da ação desagregadora da chuva. A época 1 apresentou maior valor de DMG, demonstrando o estado natural do solo, pois nas duas épocas subseqüentes podemos verificar a influência do manejo na estabilidade de agregados, ou seja, no tratamento Esc, EG e ER houve degradação da estrutura, indicada na época 2 e, na época 3, percebemos uma pequena recuperação da mesma. A maior degradação e maior recuperação da agregação do solo ocorreu no tratamento EG, fato este que pode estar associado à maior incorporação dos resíduos vegetais no momento da aplicação do manejo.

**Tabela 13 – Diâmetro médio geométrico (DMG) e teor de matéria orgânica (MO%) da camada 0,00-0,05 m, nas diferentes épocas, para o plantio direto (PD), escarificado (Esc), escarificado + grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER) do Argissolo.**

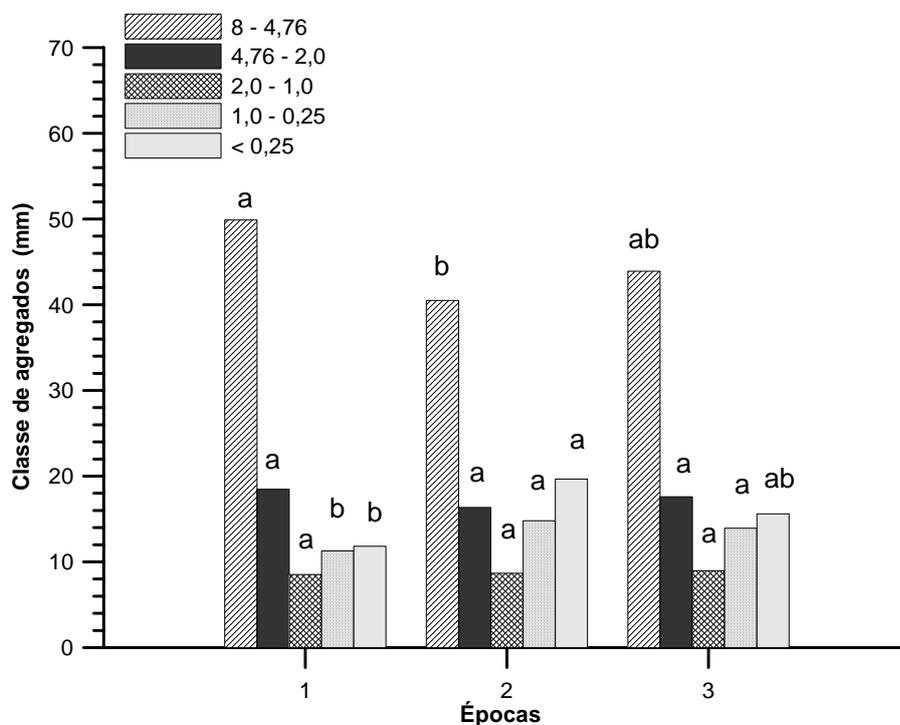
Época	Manejo				Média
	PD	Esc	EG	ER	
<b>DMG (mm)</b>					
1	2,2	2,6	2,5	2,5	2,4a
2	2,6	1,6	1,3	1,7	1,8b
3	2,2	2,1	1,8	1,9	2,0b
<b>Média</b>	2,3	2,1	1,8	2,0	
<b>M.O.(%)</b>					
1	2,0	2,0	1,8	1,8	1,9
2	2,0	2,0	1,8	2,3	2,1
3	2,3	1,7	2,7	2,0	2,2
<b>Média</b>	2,1	1,9	2,1	2,1	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

O DMG dos agregados foi pouco influenciado pela matéria orgânica do solo (MO) fato verificado pelo baixo coeficiente de correlação na análise conjunta das épocas ( $r = 0,33$ ), semelhante ao obtido por Campos et al. (1999) o qual argumenta

que baixa correlação pode ser atribuída à pequena variação no conteúdo de MO, de 1,7 a 2,7 %, o qual não foi suficiente para afetar a estabilidade de agregados.

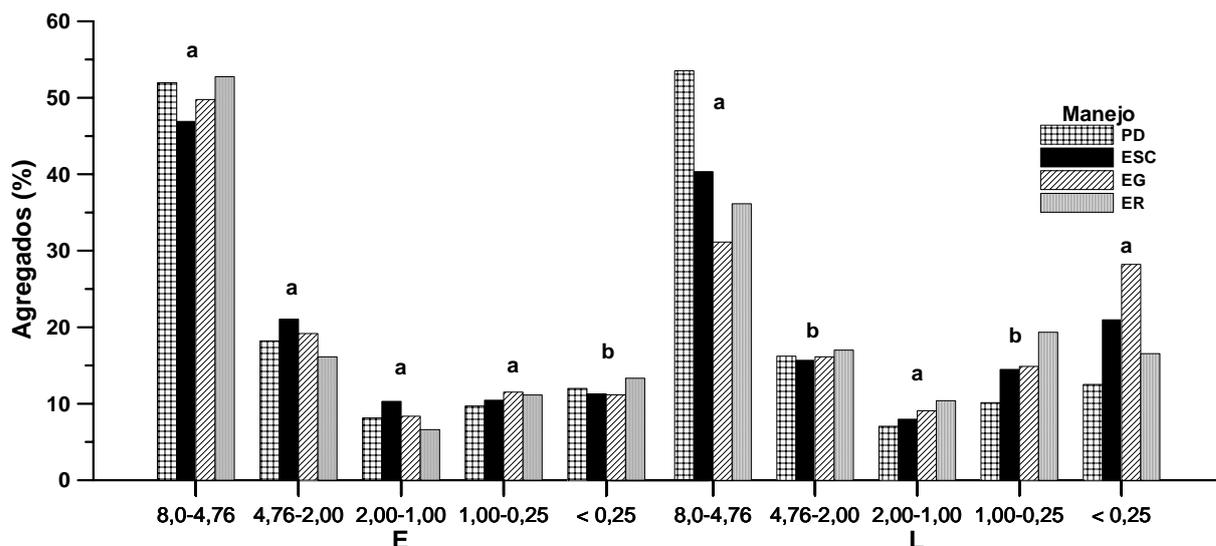
A distribuição do tamanho de agregados estáveis em água não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos, porém avaliando as épocas percebe-se variação ao longo do tempo (Figura 3). Em todas as épocas a classe de diâmetro 8,00-4,76 mm foi a que apresentou maior concentração, variando de 40 a 50 %. Na época 1 observamos que essa classe possui cerca de 50 % do total dos agregados, o qual independente do sistema de manejo aplicado provocou diminuição da quantidade dos mesmos na época 2, com conseqüente aumento nas classes de menor diâmetro (1,00-0,25 e < 0,25 mm). Contudo, na época 3 verificamos uma tendência dos agregados retornarem ao seu estado inicial, mas com valor de agregados na classe de maior diâmetro variando de 40 a 45%, fato que pode estar relacionado com o tipo de solo, pois conforme Reichert et al. (2003) a recuperação da estabilidade estrutural é pelo menos duas vezes mais rápido em solos arenosos do que em argilosos.



**Figura 3 – Distribuição do tamanho de agregados estáveis em água em Argissolo Vermelho-Amarelo nas diferentes épocas de avaliação. Valores seguidos de mesma letra entre as épocas, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.**

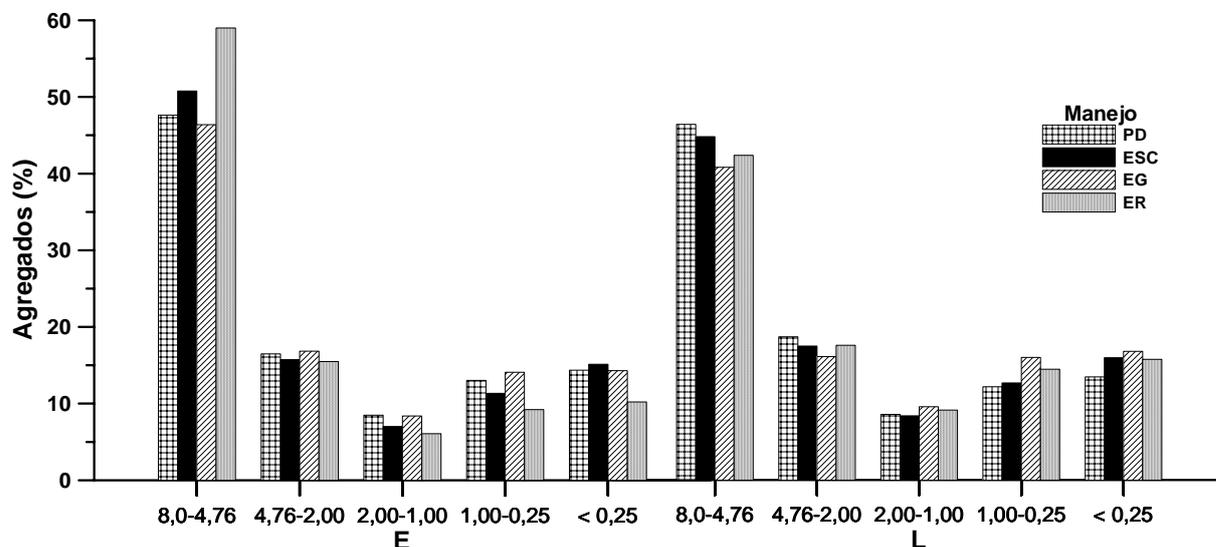
A Figura 4 representa a distribuição dos agregados determinados na linha e entrelinha de plantio para cada preparo do solo na época 2. Os tratamentos não apresentaram diferença significativa na quantidade de agregados dentro das classes de diâmetro entre preparos, porém na linha e entrelinha foram significativamente alterados. Apesar da classe de diâmetro 8,00-4,76 mm demonstrar redução da porcentagem de agregados na linha de plantio para os tratamentos revolvidos, não revelou diferença estatística entre os locais de coleta. As classes de menor diâmetro foram mais afetadas quando analisado a entrelinha e linha de plantio, principalmente a classe  $< 0,25$  mm, apresentando aumento de cerca de 50 % nos tratamentos revolvidos.

A distribuição de agregados estáveis em água nas classes de diâmetro determinados na entrelinha e linha de plantio para os tratamentos na época 3 estão representados na Figura 5. Podemos observar que a análise estatística não apresentou diferença entre preparo e entre os locais avaliados. Esse fato pode ser atribuído à reconsolidação natural sofrida pelo solo e/ou em função da ação do crescimento do sistema radicular do eucalipto. Gonçalves (2002) relata que as essências florestais possuem grande potencial na formação e estabilização de agregados, devido ao sistema radicular denso e aporte elevado e regular de matéria orgânica no solo, além de protegerem a superfície do solo quanto à desagregação pela chuva, levando a favorecer a resiliência do solo ao longo do tempo.



### Classes de tamanho (mm) – Época 2

Figura 4 – Distribuição do tamanho de agregados estáveis em água em Argissolo Vermelho-Amarelo determinados na entrelinha (E) e linha (L) de plantio para cada sistema de manejo na época 2. Valores seguidos de mesma letra para cada classe de agregado entre E e L, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.



### Classes de tamanho (mm) Época 3

Figura 5 – Distribuição do tamanho de agregados estáveis em água em Argissolo Vermelho-Amarelo determinados na entrelinha (E) e linha (L) de plantio para cada sistema de manejo na época 3. Valores seguidos de mesma letra para cada classe de agregado entre E e L, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Analisando o efeito dos diferentes sistemas de manejo na linha e entrelinha de plantio (Tabela 14) observamos que não ocorre diferença significativa para o DMG nas duas épocas avaliadas, porém o teor de matéria orgânica da época 2, apresenta diferença entre os manejos e entre local, sendo que o manejo EG apresentou menor concentração, provavelmente em decorrência do maior revolvimento do solo que recebeu, o qual favoreceu mais rapidamente a degradação da MO. O teor de MO na entrelinha foi maior, demonstrando que o não revolvimento do solo nesse local favoreceu a incorporação da mesma. A análise de correlação revela que o DMG foi influenciado pela MO nas duas épocas, devido ao alto coeficiente de correlação de  $r = 0,74$  e  $r = 0,94$ , respectivamente.

**Tabela 14 – Diâmetro médio geométrico (DMG) e Teor de matéria orgânica (MO%) da camada 0,00-0,05 m aos 3 meses (época 2) e aos 12 meses após a instalação do experimento (época 3), determinados na linha (L) e entrelinha (E) para o plantio direto (PD), escarificado (Esc), escarificado + grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER) do Argissolo.**

Local	Manejo				Média
	PD	Esc	EG	ER	
<b>DMG (mm) Época 2</b>					
E	2,6	2,4	2,5	2,4	2,5
L	2,6	1,6	1,3	1,7	1,8
<b>Média</b>	2,6	2,0	1,9	2,0	
<b>MO (%) Época 2</b>					
E	2,8	2,6	2,1	2,5	2,5a
L	2,0	2,0	1,8	2,3	2,1b
<b>Média</b>	2,4a	2,3a	2,0b	2,4a	
<b>DMG (mm) Época 3</b>					
E	2,1	2,2	2,1	2,8	2,3
L	2,2	2,1	1,8	1,9	2,0
<b>Média</b>	2,1	2,1	1,9	2,3	
<b>MO (%) Época 3</b>					
E	2,3	2,0	2,4	1,7	2,1
L	2,3	1,7	2,7	2,0	2,2
<b>Média</b>	2,3	1,9	2,6	1,9	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

## 5.2 Dendrometria do *Eucalyptus grandis*

Em cada método de preparo do solo para a implantação do *E. grandis*, o desenvolvimento radicular foi variável, as raízes atingiram profundidade superior 0,60 m, mas demonstraram maior volume de solo explorado nos tratamentos com revolvimento (Figura 6). A distribuição radicular observada está relacionada com a RP demonstrada na Figura 2, onde percebemos o crescimento preferencial das raízes em função da área preparada.

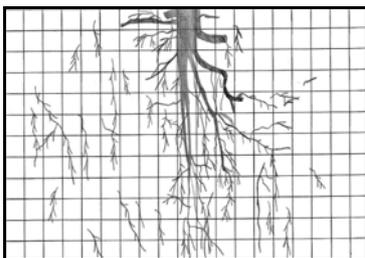
Nos tratamentos Esc e EG, a distribuição radicular apresentou maior aprofundamento das raízes, sem ocorrência de desvio da raiz principal, e com boa distribuição das raízes secundárias. No manejo ER, observa-se uma boa exploração das raízes secundárias mais em superfície, com menor desenvolvimento da raiz principal, contudo, na repetição 3 a raiz principal ultrapassa os 0,60 m de profundidade.

No sistema de manejo PD as plantas apresentaram menor distribuição radicular, tanto pela raiz principal quanto pelas raízes secundárias, com exceção da repetição 2, a qual atingiu uma profundidade maior que 0,60 m.

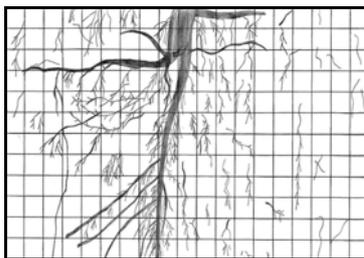
Stape et al. (2002) avaliando o crescimento inicial de um clone de *Eucalyptus grandis x urophylla* submetido a diferentes sistemas de preparo do solo e fertilização em dois sítios distintos verificou que, o sistema radicular das plantas que receberam preparo do solo em maior profundidade apresentaram maior aprofundamento e densidade radicular do que na área sem preparo, fato observado num Argissolo com presença de uma camada adensada a 0,60 m.

O tratamento ER apresentou maior quantidade de biomassa total da parte aérea do eucalipto (folhas, galhos, lenho e casca), com mais de 2500 Kg ha<sup>-1</sup>, porém não apresentou diferença estatística entre os tratamentos (Figura 7).

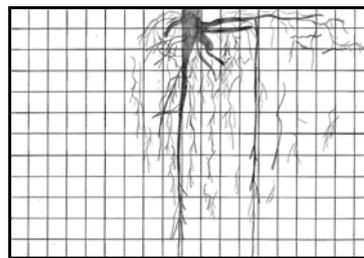
PD – Rep.1



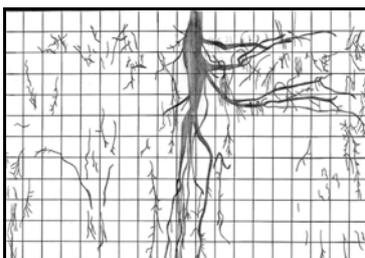
PD – Rep.2



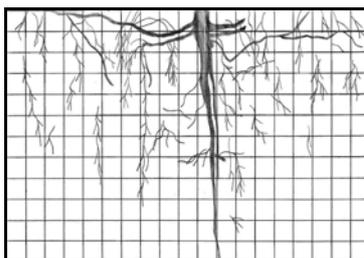
PD – Rep.3



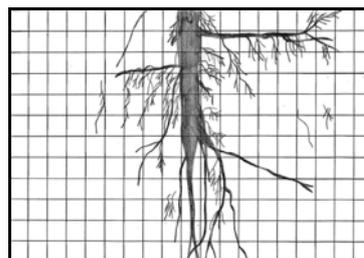
Esc – Rep.1



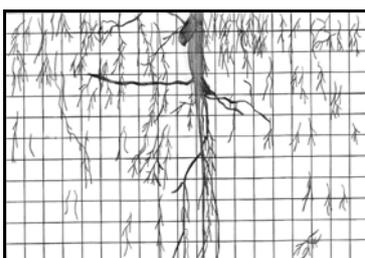
Esc – Rep.2



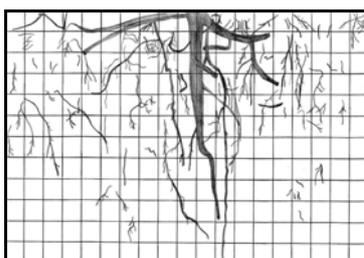
Esc – Rep.3



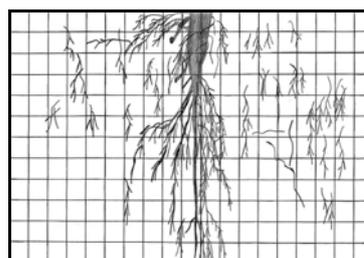
EG – Rep.1



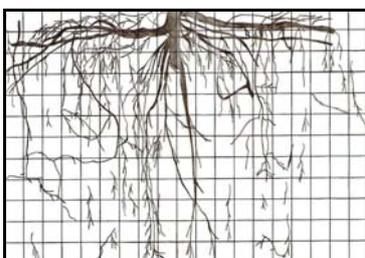
EG – Rep.2



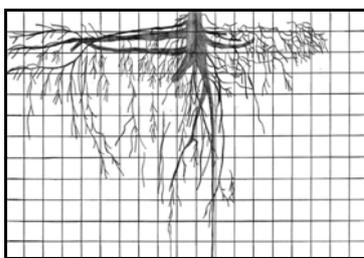
EG – Rep.3



ER – Rep.1



ER – Rep.2



ER – Rep.3

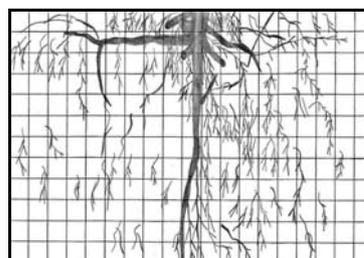


Figura 6 – Distribuição radicular do *E. grandis* no perfil cultural (1,0 x 0,60 m) para os diferentes métodos de preparo do solo com três repetições. Avaliação realizada aos 8 meses após o plantio. Quadrícula com malha de 0,05 x 0,05 m.

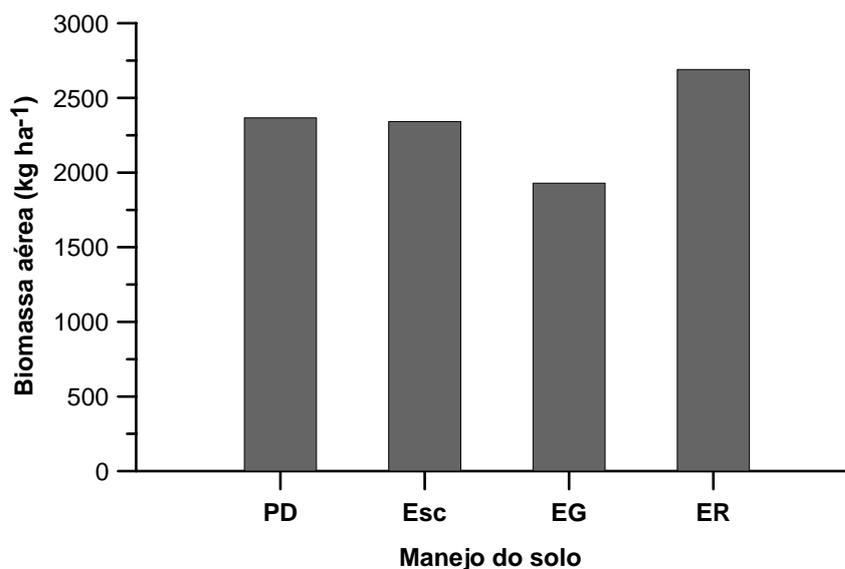


Figura 7 – Biomassa das árvores médias, determinada aos 8 meses de idade do *E. grandis*.

Os resultados do desenvolvimento inicial do *E. grandis* por tratamento estão apresentados na Tabela 15. O diâmetro medido a 0,10 m de altura (d10) foi escolhido para representar o crescimento em diâmetro das árvores nas diferentes idades de avaliação, pois as mesmas não apresentavam diâmetro à altura do peito (Dap) antes dos 12 meses de idade. Verificamos que para todas as variáveis de crescimento analisadas o tratamento ER foi o que apresentou os maiores valores, diferindo dos demais, o que contraria os resultados obtidos por Cavichiolo et al. (2003), onde observou que a gradagem em solo de textura média manifestou os menores valores de altura e Dap no desenvolvimento da rebrota de *E. saligna*, e não apresentou diferença de crescimento entre à sulcagem e o não revolvimento do solo.

Para as variáveis d10 e altura, aos 3 meses de idade o PD foi o que apresentou o menor valor e diferiu dos demais tratamentos, Wichert (2005) também verificou que aos 3 e 6 meses de idade o *E. grandis* plantado em cova manual apresentou menor desenvolvimento em altura. Nas idades de 6, 9 e 12 meses a altura no ER foi significativamente maior em relação aos outros tratamentos, fato que pode estar relacionado com o preparo mais intensivo em superfície, o qual favorece o maior crescimento das plantas devido às melhores condições criadas para absorção de nutrientes e água, além da redução da competição com ervas daninhas.

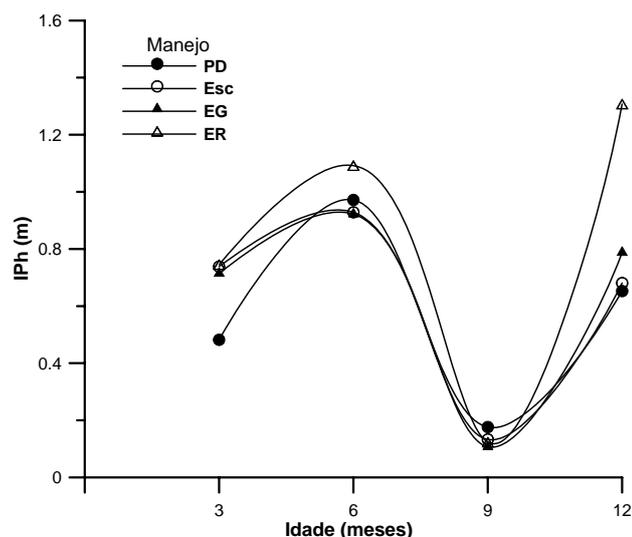
Na Figura 8 estão representados os incrementos periódicos em altura para o *E. grandis* para cada sistema de manejo. Observa-se um crescimento mais rápido

nos primeiros 6 meses de desenvolvimento no ER, possivelmente pelo maior revolvimento que resultam em maior disponibilidade de nutrientes nesse sistema. A partir dos 6 meses de idade das árvores ocorre um decréscimo em todos os tratamentos, período este caracterizado pela estação de inverno, onde ocorre as menores taxas de precipitação e temperatura caracterizando, assim, redução ou praticamente estagnação do crescimento. Aos 12 meses de idade, verificamos que o tratamento ER continua com crescimento superior em relação ao demais. Podemos perceber que nas diferentes idades analisadas, as mudas plantadas sob PD apresentaram desenvolvimento inferior, conforme Dedecek et al. (2004), nesse sistema de preparo o crescimento inicial é mais lento devido à maior dificuldade de estabelecimento do sistema radicular e à maior competição sofrida com a vegetação espontânea. Além disso, quando o sistema de preparo do solo para plantio não favorece a incorporação de resíduos, o vigor e a homogeneidade do crescimento das árvores de eucalipto somente ocorrem de 12 a 24 meses após o plantio, dependendo da qualidade do sítio (GONÇALVES et al., 2000).

**Tabela 15 – Resultados do crescimento do *E. grandis* nos sistemas de manejo durante o período de estudo.**

Manejo	Idade (meses)			
	3	6	9	12
	<b>d10 (cm)</b>			
<b>PD</b>	1,14b	2,92b	3,26b	3,94b
<b>Esc</b>	1,30ab	2,88b	3,24b	3,94b
<b>EG</b>	1,31ab	3,03b	3,38b	4,17b
<b>ER</b>	1,47a	3,47a	4,00a	5,03a
	<b>altura (m)</b>			
<b>PD</b>	0,80b	1,83b	1,87b	2,40b
<b>Esc</b>	1,03a	1,95b	2,06b	2,65b
<b>EG</b>	1,01a	1,99ab	2,04b	2,80b
<b>ER</b>	1,07a	2,17a	2,29a	3,58a

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.



**Figura 8 – Incremento periódico em altura do *E. grandis* segundo os sistemas de manejo do solo.**

Foram determinados alguns parâmetros dendrométricos do *E. grandis* somente para a idade de 12 meses (Tabela 16), pois todas as árvores possuíam diâmetro à altura do peito (Dap). Verificamos que esses parâmetros foram afetados de forma significativa pelo sistema de preparo utilizado para o estabelecimento da floresta. De um modo geral, houve tendência de aumento da sobrevivência e do Dap, com reflexos na área basal e no volume, à medida que se intensificou o preparo do solo, com superioridade de Dap de 42 % no tratamento ER em relação ao PD após 12 meses de plantio, evidenciando a importância do revolvimento do solo no início do desenvolvimento das árvores. Finger et al. (1996) encontraram um crescimento em Dap superior a 50 % em solo subsolado em relação ao não subsolado no povoamento com mais de 24 meses de idade. Maluf (1991) também constatou que preparos mais intensivos do solo favoreceram o crescimento e obteve após 51 meses de plantio, superioridade de 77 % no solo que recebeu preparo com dupla gradagem com grade pesada, do que somente com grade *bedding*. Essa diferença de crescimento foi devido à maior infestação de ervas daninhas no preparo menos intensivo.

Com relação à sobrevivência das plantas, verificamos que o PD apresentou um baixo índice de sobrevivência, com 59 %, isso pode estar relacionado à maior dificuldade de estabelecimento das raízes, uma vez que o solo nesse sistema não recebeu revolvimento, ou devido à maior competição por plantas daninhas e ataque de formigas verificado no período inicial do desenvolvimento das plantas. Porém o

aumento da intensidade de preparo resultou em maior sobrevivência das mudas, sendo o ER o tratamento com maior número de plantas. Gatto et al. (2003) obtiveram 71,2 % de sobrevivência para as plantas que receberam cultivo mínimo, contra 88,5 % para o tratamento que recebeu queima, destoca e subsolagem. Finger et al. (1996) encontraram 97,62 % de sobrevivência em solo subsolado e 92,86 % em solo que não recebeu subsolagem.

A relação hipsométrica revela a relação existente entre a altura e o Dap das árvores, onde pequenos diâmetros se correlacionam com pequenas alturas, porém quando existe competição entre as árvores, essa relação pode ser diferente. Podemos verificar na Figura 9 que existem árvores que apresentam para um mesmo diâmetro alturas maiores, revelando dessa forma, ocorrência de certa competição entre as plantas nos tratamentos EG e ER, os quais apresentaram maior sobrevivência, e conseqüentemente, maior número de árvores por hectare.

**Tabela 16 – Valores médios de diâmetro a altura do peito (Dap), área basal e sobrevivência do *E. grandis* aos 12 meses de idade.**

<b>Manejo</b>	<b>Dap cm</b>	<b>Área Basal m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup></b>	<b>Volume m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup></b>	<b>Sobrevivência %</b>
<b>PD</b>	1,57b	0,31c	1,07b	59c
<b>Esc</b>	1,95ab	0,59b	1,99ab	82ab
<b>EG</b>	2,06ab	0,65b	2,23ab	87ab
<b>ER</b>	2,69a	1,09a	4,76a	91a

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%. Dap = diâmetro a altura do peito em cm.

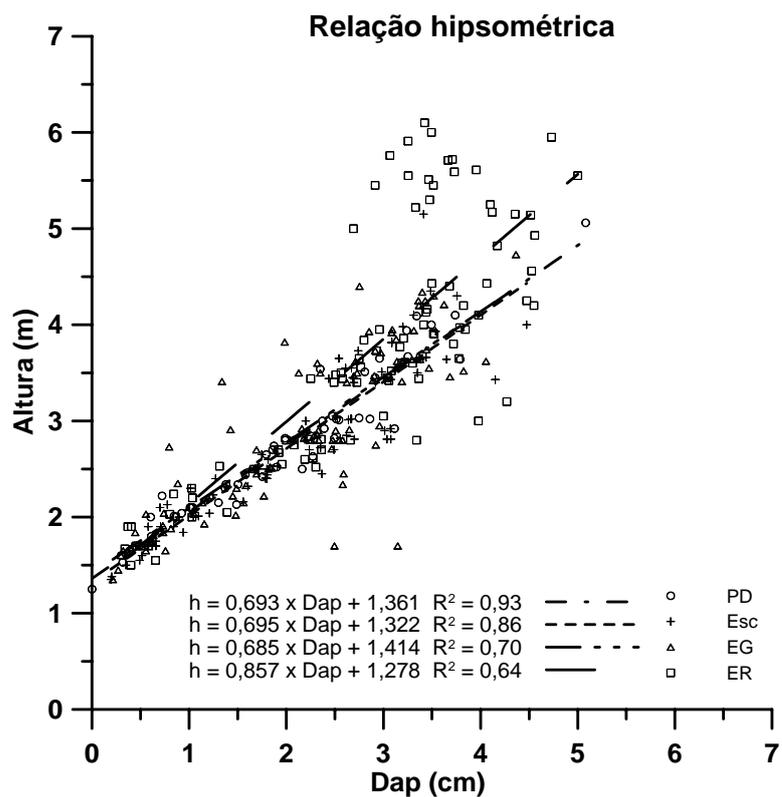


Figura 9 – Relação entre o diâmetro a altura do peito (Dap) e altura das árvores de *E. grandis* aos 12 meses de idade.

## 6 CONCLUSÕES

O plantio direto de mudas de *E. grandis* condiciona o crescimento inicial em solo com maior resistência e densidade do solo e menor macroporosidade e porosidade total, quando comparado aos preparos com mobilização, especialmente na camada superficial.

O solo na entrelinha de plantio revelou maior densidade em todas as camadas. O PD apresentou valores de macroporosidade considerado restritivo ao crescimento radicular, abaixo de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , até 3 meses após o plantio. Entretanto, nos 12 meses após o plantio, verificou-se que todos os tratamentos e camadas avaliadas seguiram essa tendência.

A distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água e o DMG não foram afetados pela prática do manejo e pelo teor de matéria orgânica. Porém as classes de diâmetro menor que 0,25 mm apresentaram aumento de cerca de 50 % na linha de plantio nos tratamentos revolvidos, além disso, variaram com o decorrer do tempo, tendendo à reconsolidação após um ano.

A análise da distribuição radicular no perfil, apesar de ser um método qualitativo, foi eficiente em demonstrar o efeito do preparo do solo para implantação do *E. grandis*.

As mudas de eucalipto plantadas sob o preparo com enxada rotativa apresentaram maior crescimento em diâmetro a 10 cm de altura e altura em todas as idades avaliadas, em contrapartida, o menor crescimento foi obtido no plantio direto. O maior incremento periódico em altura ocorreu nos primeiros 6 meses de idade, com posterior decréscimo, retomando aos 9 meses sendo que o crescimento foi superior no preparo com enxada rotativa.

Houve tendência de aumento da sobrevivência e do diâmetro à altura do peito (Dap), com reflexos na área basal e volume, à medida que se intensificou o preparo, com porcentagem de sobrevivência e Dap superior, em 35 e 42 % no preparo com enxada rotativa em relação ao plantio direto, respectivamente.

A permanência dos efeitos da escarificação sobre as propriedades físicas do solo persistiram após um ano da mobilização do solo.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As práticas de manejo são de fundamental importância para o meio ambiente e para a produção florestal e são usadas pra evitar a degradação do solo e promover melhorias no estabelecimento e no desenvolvimento das florestas plantadas e, além disso, devem ser economicamente viáveis.

Os experimentos que unem práticas de manejo do solo com produtividade de florestas devem ser monitorados a longo prazo, pois tanto o solo quanto a resposta do crescimento das plantas em função do revolvimento precisam de um tempo maior para demonstrar o real impacto e não somente indicar uma tendência. As práticas de manejo avaliadas nesse trabalho indicam apenas seu efeito sobre alguns parâmetros físicos do solo, que afetam o estabelecimento e o crescimento inicial da floresta, mas outros parâmetros como a retenção e disponibilidade de água e a aeração do solo, não foram monitorados, os quais podem ter influenciado nos resultados. Dessa forma, o monitoramento dessas propriedades físicas do solo poderia ser importante para as conclusões finais.

Avaliações ao longo do ciclo de desenvolvimento do eucalipto podem resultar em importantes informações, pois existem diversos fatores que tendem a provocar diferenciação, tanto diminuição quanto aumento do crescimento.

## 8 BIBLIOGRAFIA

ABRÃO, P. U. R.; GIANLUPPI, D.; AZOLIN, M. A. D. **Levantamento semidetalhado dos solos da estação experimental de silvicultura de Santa Maria**. Porto Alegre, 1988. (Publicação IPRNR, n. 21).

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, maio/jun. 2004.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E. Variação temporal da estabilidade estrutural em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 275-280, maio/jul. 1994.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuárias nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 717-723, jul./set. 2001.

ALLISON, F. E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1973. p.315-345.

ARGENTON, et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p.425-435, maio/jun. 2005.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Conteúdo de nitrogênio total num solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p.235-239, abr./jun. 1997.

BERTOL et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 91-95, jan./fev. 2000.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1979. 190 p.

BORGES, E.N. **Resposta da soja e do eucalipto à camadas compactadas de solo**. 1986, 54 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BRADFIELD, R. Soil conservation from the viewpoint of soil physics. **Journal American Society of Agronomy**, Madison, v. 29, n. 2, p. 85-92, 1937.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 11. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. 225 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 413 p. (DNPEA. Boletim técnico, 30).

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 789-796, set./out. 2005.

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargil, 1983. 44 p.

CAMPOS et al. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, jan./abr. 1995.

CAMPOS et al. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 383-391, abr./jun. 1999.

CANARACHE, A. PENETR – a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, n. 1-2, p. 51-70, abr. 1990.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, jan./abr. 1990.

CARSON, E. W. (ed.). **Plant root and its environment**. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. 691 p.

CARVALHO Jr et al. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 497-503, jul./set. 1998.

CAVICHIOLO, S.R.; DEDECEK, R.A.; GAVA, J.L. Avaliação do efeito do sistema de preparo de solos de diferentes texturas, na sua resistência mecânica e na produtividade da rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.47, p.83-98, jul./dez. 2003.

CAVICHIOLO, S.R.; DEDECEK, R.A.; GAVA, J.L. Modificações nos atributos físicos de solos submetidos a dois sistemas de preparo em rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 571-577, jul./ago. 2005.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC – SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande Do Sul E Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul/ UFRGS. 2004, 400 p.

CONSTANTINI, A. Impacts of pinus plantation management on selected physical properties of soils in the coastal lowlands of southeast Queensland, Australia. **Commonwealth Forestry Review**, v. 74, n. 3, p. 211-223, 1995.

COSTA et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelo sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, maio/jun. 2003.

CRUZ et al. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, nov./dez. 2003.

DEDECEK et al. **Sistemas de preparo do solo para plantio de Acácia-negra (*Acacia mearnsii*): Efeitos na erosão e na produtividade**. Colombo, Paraná: Embrapa Florestas, 2004 (Comunicado Técnico).

DEDECEK, R. A. & GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 383-390, maio/jun. 2005.

DENARDIN, J. E. **Preparo conservacionista do solo**. Plantio Direto, Ponta Grossa, v. 5, n. 21, p. 2, 1987.

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**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 175-182, maio/ago. 1996.

DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F. & ALVAREZ, V. H. & SCHAEFER, C. E. G. R. (eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 54-94.

DUFRANC et al. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.3, p. 505-517, mai./jun. 2004.

EAVIS, B. W. Soil physical conditions affecting seedling root growth. I. Mechanical impedance, aeration, and moisture availability as influenced by bulk and moisture levels in a sandy loam soil. **Plant and Soil**, v. 36, n. 1-3, p. 613-622, fev. 1972.

ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeito de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 259-267, maio/ago. 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA - Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FERNANDES et al. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludaf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 329-333, 1983.

FERNANDEZ, E.M.; CRUSCIOL, C.C.C. & THIMOTEO, C..M.S. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. **Científica**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 117-132, 1995.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM / CEPEF / FATEC, 1992. 269 p.

FINGER et al. Influência da camada de impedimento no solo sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, p. 137-145, 1996.

FORSYTHE, W. M. Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. **Fitotecnia Latinoamericana**, San Jose, v. 4, n. 2, p. 165-176, 1967.

FOX, T. R. Sustained productivity in intensively managed forest plantations. **Forest Ecology & Management**, v. 138, p. 187-202, nov. 2000.

GATTO et al. 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*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 1-15, set./out. 2003.

GONÇALVES et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das florestas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 3-55.

GONÇALVES, J. L. M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002, cap. 1, p.1-46.

GONÇALVES, et al. Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002, cap. 3, p. 131-204.

GRABLE, A. R. **Effects of compaction on content and transmission of air in soils**. In: ASAE, ed. *Compaction of Agricultural Soils*. St. Joseph., ASAE, 1971. p.154-164.

GREACEN, E. L.; BARLEY, K. P. & FARREL, D. A. The mechanics of root growth in soils with particular reference to the implications for root distribution. In: WHITTINGTON, W. J., ed. **Root growth**. Butterworths, London, 1969. p. 256-268.

GUPTA et al. **Development of quids for estimating the ease of compaction of world soils**. Bet Dagan, Israel: Binational Agriculture Research Development. University of Minnesota, 1985. 178 p. Research Report.

HARTGE, K. H.& HORN, R. **Die physikalische Untersuchung von Böden**. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1992. 177 p.

HILDEBRAND, E. E. Medium to root growth. In: IUFRO/ECE INTERACTIVE WORKSHOP AND SEMINAR: SOIL, TREE, MACHINE INTERACTIONS, 1994, Germany. **Proceedings...**Germany: 1994. p. 281-289.

HORN et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, n. 1-2, p. 23-26, ago. 1995.

HORTON, R. & ANKENY, M. D. & ALMARAS, R. R. Effects of Compaction on Soil Properties. In : SOANE, B. D. & OUWERKERK, C. (eds). **Soil Compaction in Crop Production**. Amsterdam, Holland, Elsevier Science B. V., 1994. p. 91-111.

HOTH, C. H.; CASTRO FILHO, C. & MEDEIROS, G. B. de. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 241-248, set./dez. 1991.

IMHOFF, S.; DA SILVA, A. P.; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

JUSSOF, K. **Soil compaction from off-road transportation machine on Hill Forest Land**. Pertanika Univ. Malásia, v. 11, n. 1, 1988.

KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D. & WHITE, J.L., eds. **Methods of soil analysis**. Pat 1. Madison, American Society of Agronomy, p. 499-509. 1965.

KOCHHANN, R. A. & DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema de plantio direto**. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 2000. 36 p.

LLANILLO et al. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220, abr./jun. 2006.

MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2004. 468 p.

MARTINS et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 32-41, jan./jun. 2002.

MALUF, L. L. P. **Efeito da queima, métodos de preparo do solo e da adubação no crescimento de Eucalyptus camaldulensis em Areia Quartzosa**. 1991. 78p.

Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MAZUCHOWSKI, J.Z.; DERPSCH, R. **Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas**. Curitiba: ACARPA, 1984. 68 p.

MISRA, R. K., DEXTER, A. R.; ALSTON, A. M. Maximum axial and radial growth pressures of plants roots. **Plant and soil**, Netherlands, v. 95, n. 3, p. 315-326, out. 1986.

MISRA, R.K; GIBBONS, A. K. Growth and morphology of eucalypt seedling-roots, in relation to soil strength from compaction. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 182, n. 1, p.1-11, maio 1996.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

NEVES JUNIOR, A. F. **Avaliação da qualidade física de solos em pastagens degradadas da Amazônia**. 2005. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 29, n. 6, p. 815-828, 1991.

OLIVEIRA, C. V.; BAHIA, V. G.; PAULA, M. B. Compactação do solo devido a mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle. **Informe Agropecuário**, v. 19, n. 191, p. 103-113, 1998.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; HERNANS, J. L. **Técnica de la mecanización agraria**. 3º ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1989. 641 p.

PALADINI, F.L.S.; MIELNICZUK, J.. Distribuição de tamanho de agregados de um Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 135-140, jan./abr. 1991.

PIERCE, F. J.; FORTIN, M. C.; STATON, M. J. Immediate and residual effects of zone tillage in rotation with no-tillage on soil physical properties and corn performance. **Soil & Tillage Research**, v. 30, p. 149-165, 1992.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo**. UFPR, Curitiba, 1996. 445 p.

PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soils**. New York: J. Wiley, 1979. 500 p.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, v. 27, n. 2, p. 29-48, jul./dez. 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.; CERETTA, C. A. Eds. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 2001. p. 114-133.

RESCK, D. V. S. **O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. Resumo expandido. Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD-ROM.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influencia dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, p. 701-709, set./out. 2005.

RIQUELME, U. F. B. **Propriedades físicas e hídricas do solo em sistemas de manejo do feijoeiro**. 2004. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SANTOS et al. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p.435-440, jan./fev. 2008.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA – SBS: Fatos e números do Brasil florestal. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>, 2006. Acesso em: 02 out. 2007.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1993. 348 p.

SECCO et al. Atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 407-414, mai./jun. 2005.

SEIXAS, F. Efeitos físicos da colheita mecanizada de madeira sobre o solo. In: GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 313-350.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R.; ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 265-268, 1984.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA et al. Estabilidade e resistência de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho- adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 97-103, jan. 1998.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 191-199, jan./mar. 2000.

SOANE, B.D.; VAN OUWERKERK, C. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE B.D.; OUWERKERK, C. van, ed. **Soil compaction in crop production**. Netherlands: Elsevier, 1994. p. 1-21.

STAPE et al. Definição de métodos de preparo do solo para silvicultura em solos coesos do litoral norte da Bahia. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002, cap. 7, p. 259-296.

STEPNIEWSKI, W.; HORN, R.; MARTYNIUK, S. Managing soil biophysical properties for environmental protection. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 88, n. 2, p. 175-181, fev. 2002.

STRECK et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER / RS, UFRGS, 2002. 107 p.

SUZUKI, L. E. A. S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. 151 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength-root penetration relations of coarse textured materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.

TAYLOR, J. C.; BELTRAME, L. F. S. Por que, quando e como utilizar a subsolagem. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 3, n. 320, p. 34-44, mai./jun. 1980.

TISDALL, J.M.; COCKROFT, B. & UREN, N.C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials microbial activity and physical disruption. **Australian Journal Soil Research.**, Victoria, v. 16, p. 9-17, 1978.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, v. 17, p. 429-441, 1979.

TISDALL, J. M. & OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, London, v. 33, p. 141-163, 1982.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de Eucalyptus saligna Smith, na Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul.** 2003. 289 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 22, n. 4, p. 573-581, out./dez. 1998.

VIEIRA, M. J. Tecnologias poupadoras de insumos. 1. Cultivo mínimo comparado a outros sistemas. 1.1. Efeitos no solo e na planta. In: SIMPÓSIO SOBRE ENERGIA NA AGRICULTURA, Tecnologia poupadoras de Insumos, integração...1., Jaboticabal, 1984. **Anais...** Jaboticabal, FCAV, 1985. p. 32-54.

VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 4, p. 242-246, 1966.

WENDLING et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p.487-494, maio 2005.

WICHERT, M. C. P. **Erosão hídrica e desenvolvimento inicial do Eucalyptus grandis em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes métodos de preparo do solo no Vale do Paraíba – SP.** 2005. 84 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

WHITMAN, A. A.; BROKAW, V. L.; HAGAN, J. M. Forest damage caused by logging of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in northern Belize. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 92, p. 87-96, 1997.

ZEN, S. **Desenvolvimento de sistema de preparo de solo em áreas de reforma visando a eliminação da prática da queimada.** Relatório Interno da Cia. Suzano - RELMA 126, 4 p, 1992.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society of Agronomy**, v. 28. p. 337-351, 1936.

## **Anexos**

Anexo A – Valores de F e coeficiente de variação (CV %) para valores de densidade do solo (DS), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total do solo (PT) nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m do Argissolo.

<b>Causas de Variação</b>	<b>DS (Mg m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Mac (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Mic (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>	<b>PT (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>				
<b>Manejo</b>	4,46*	4,95*	0,85 ns	4,82*
<b>Época</b>	27,11*	14,96*	8,47*	9,65*
<b>Manejo*Época</b>	3,21*	2,53 ns	0,85 ns	3,13*
<b>CV (%)</b>	6,84	25,4	11,83	7,88
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>				
<b>Manejo</b>	2,76 ns	2,59 ns	1,06 ns	3,25*
<b>Época</b>	3,01 ns	1,15 ns	3,99*	0,36 ns
<b>Manejo*Época</b>	0,88 ns	1,11 ns	0,71 ns	1,14 ns
<b>CV (%)</b>	7,73	47,63	7,92	12,18
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>				
<b>Manejo</b>	3,60*	3,69*	3,14 ns	4,64*
<b>Época</b>	3,55 ns	4,47*	5,09*	3,13 ns
<b>Manejo*Época</b>	3,36*	2,38 ns	1,18 ns	2,26 ns
<b>CV (%)</b>	5,88	37,04	5,09	10,38
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>				
<b>Manejo</b>	3,03 ns	2,62 ns	4,23*	2,66 ns
<b>Época</b>	1,62 ns	4,54*	8,17*	2,37 ns
<b>Manejo*Época</b>	1,60 ns	1,84 ns	2,23 ns	1,38 ns
<b>CV (%)</b>	4,64	39,16	3,68	10,65

\* significativo a 5 %; ns = não significativo.

Anexo B – Valores de F e coeficiente de variação (CV %) para valores de densidade do solo (DS), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total do solo (PT) nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, determinados na linha e entrelinha de plantio para a época 2 do Argissolo.

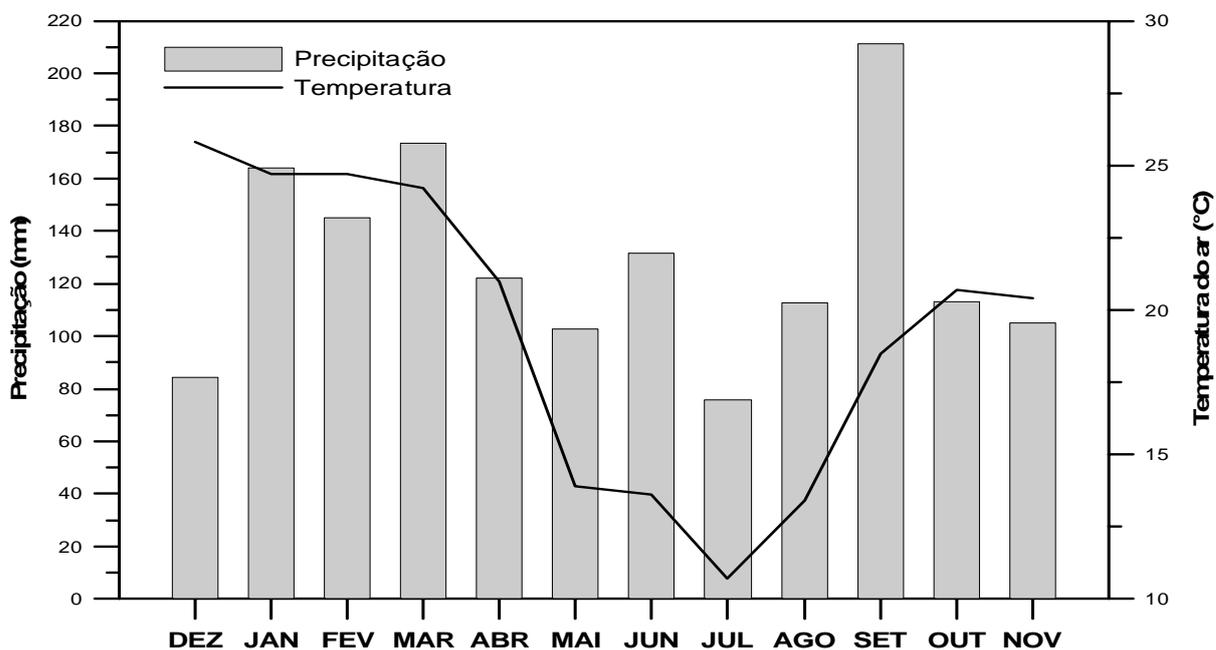
<b>Causas de Variação</b>	<b>DS (Mg m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Mac (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Mic (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>	<b>PT (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>				
<b>Manejo</b>	3,59 ns	7,18*	1,85 ns	8,39*
<b>Posição</b>	4,57 ns	12,76*	10,28*	6,53*
<b>Manejo*Posição</b>	2,34 ns	2,40 ns	1,14 ns	3,76 ns
<b>CV (%)</b>	8,51	26,2	9,8	6,86
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>				
<b>Manejo</b>	2,38 ns	1,95 ns	2,20 ns	2,00 ns
<b>Posição</b>	12,08*	3,30 ns	1,07 ns	3,59 ns
<b>Manejo*Posição</b>	3,76 ns	2,01 ns	2,49 ns	1,76 ns
<b>CV (%)</b>	6,04	47,76	5,17	13,55
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>				
<b>Manejo</b>	5,34*	5,69*	1,63 ns	6,73*
<b>Posição</b>	14,36*	12,06*	0,28 ns	16,42*
<b>Manejo*Posição</b>	4,66*	3,76 ns	0,66 ns	4,46*
<b>CV (%)</b>	5,72	32,7	4,22	8,98
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>				
<b>Manejo</b>	2,48 ns	3,22 ns	3,28 ns	1,98 ns
<b>Posição</b>	2,35 ns	2,87 ns	0,15 ns	1,92 ns
<b>Manejo*Posição</b>	4,16*	3,28 ns	0,87 ns	2,90 ns
<b>CV (%)</b>	4,27	32,37	5,06	10,49

\* significativo a 5 %; ns = não significativo.

Anexo C – Valores de F e coeficiente de variação (CV %) para valores de densidade do solo (DS), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total do solo (PT) nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, determinados na linha e entrelinha de plantio para a época 3 do Argissolo.

<b>Causas de Variação</b>	<b>DS (Mg m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Mac (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Mic (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>	<b>PT (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>
<b>Camada de 0,00-0,10 m</b>				
<b>Manejo</b>	0,38 ns	0,32 ns	0,39 ns	0,70 ns
<b>Posição</b>	45,17*	37,83*	1,62 ns	49,07*
<b>Manejo*Posição</b>	1,43 ns	0,46 ns	0,29 ns	1,90 ns
<b>CV (%)</b>	7,12	33,59	13,69	8,59
<b>Camada de 0,10-0,20 m</b>				
<b>Manejo</b>	0,63 ns	0,62 ns	2,11 ns	0,87 ns
<b>Posição</b>	1,98 ns	1,02 ns	0,17 ns	1,23 ns
<b>Manejo*Posição</b>	0,10 ns	0,12 ns	0,44 ns	0,07 ns
<b>CV (%)</b>	8,99	35,49	5,05	16,32
<b>Camada de 0,20-0,30 m</b>				
<b>Manejo</b>	0,27 ns	1,13 ns	9,23*	1,20 ns
<b>Posição</b>	6,98*	5,02 ns	5,13 ns	3,82 ns
<b>Manejo*Posição</b>	0,62 ns	0,92 ns	1,79 ns	0,69 ns
<b>CV (%)</b>	5,02	37,5	2,77	10,81
<b>Camada de 0,30-0,40 m</b>				
<b>Manejo</b>	1,00 ns	2,86 ns	7,06*	3,43 ns
<b>Posição</b>	3,90 ns	3,23 ns	0,00 ns	5,35*
<b>Manejo*Posição</b>	0,74 ns	0,60 ns	1,21 ns	0,45 ns
<b>CV (%)</b>	3,02	38,3	2,88	5,53

\* significativo a 5 %; ns = não significativo.

**Anexo D - Precipitação e temperatura do ar durante o período das avaliações.**

**Anexo E – Detalhe da aplicação de herbicida, coveamento manual no sistema plantio direto.**



Anexo F – Detalhe da escarificação, grade niveladora e enxada rotativa.



**Anexo G – Detalhe do perfil cultural de raízes do eucalipto nos diferentes métodos de preparo do solo.**

PD – Rep. 1



Esc – Rep. 1

PD – Rep. 2



Esc – Rep. 2

PD – Rep. 3



Esc – Rep. 3



EG – Rep. 1



EG – Rep. 2



EG – Rep. 3



ER – Rep. 1



ER – Rep. 2



ER – Rep. 3



**Anexo H – Detalhe da vista geral do experimento aos 3 e 12 meses de idade do eucalipto.**  
3 meses



12 meses



**Anexo I - Detalhe da medição da altura das árvores de eucalipto e determinação da resistência à penetração.**

