

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

Jéssica Silveira França

**PREPAROS DO SOLO PARA EUCALIPTO EM SEGUNDA ROTAÇÃO:
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS E CRESCIMENTO INICIAL**

Santa Maria, RS
2017

Jéssica Silveira França

**PREPAROS DO SOLO PARA EUCALIPTO EM SEGUNDA ROTAÇÃO:
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS E CRESCIMENTO INICIAL**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. PhD. José Miguel Reichert

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

França, Jéssica Silveira
PREPAROS DO SOLO PARA EUCALIPTO EM SEGUNDA ROTAÇÃO:
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS E CRESCIMENTO INICIAL /
Jéssica Silveira França.- 2017.
107 p.; 30 cm

Orientador: José Miguel Reichert
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2017

1. compactação 2. cultivos florestais 3. mobilização do
solo I. Reichert, José Miguel II. Título.

© 2017 Todos os direitos autorais reservados a Jéssica Silveira França. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

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

E-mail: jessica09sf@gmail.com

Jéssica Silveira França

**PREPAROS DO SOLO PARA EUCALIPTO EM SEGUNDA ROTAÇÃO:
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS E CRESCIMENTO INICIAL**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**.

Aprovado em 24 de fevereiro de 2017:


José Miguel Reichert, PhD (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Miriam Fernanda Rodrigues, Dra. (UFSM)



Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki, Dr. (UFPel)

*Dedico com amor, à minha mãe Vera Lúcia e
à minha família.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pela oportunidade de ensino, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo acolhimento e amparo profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Celulose Riograndense - CMPC pela colaboração para a realização deste estudo, disponibilidade da área para a condução do experimento e de seus colaboradores, em especial ao pesquisador Elias Frank de Araújo, pelo apoio e dedicação para a realização do estudo.

À equipe da empresa Serviços Técnicos Florestais (SERTEF) pela colaboração no trabalho a campo.

Ao Professor José Miguel Reichert, pela orientação e ensinamentos.

Aos professores Paulo Ivonir Gubiani e Dalvan José Reinert, pelos momentos de convivência no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFSM.

Ao laboratorista Flávio Fontinelli, pela amizade e auxílio nas análises laboratoriais.

Ao secretário do PPGCS, Heverton, pela paciência e colaboração em questões burocráticas.

Em especial, às colegas Caroline Pereira, Cláudia Barros, Cristina Redin, Luanna Rangel e Patrícia Pértile, pela amizade e apoio nesta trajetória e pelos momentos gratificantes.

Aos colegas do Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFSM, pela colaboração, amizade e auxílio nas coletas de campo e análises laboratoriais.

Aos estudantes de iniciação científica, pelo auxílio na coleta de campo e nas análises.

À minha mãe Vera Lúcia Silveira, pelo amor, incentivo aos estudos, dedicação e cuidado.

À minha família por toda força, amor e incentivo.

Ao meu namorado William Oliveira de Castro, pela paciência, carinho e pela compreensão em momentos difíceis.

Àqueles amigos que não citei, mas que de alguma maneira contribuíram para a conclusão desta etapa.

Muito obrigada!

RESUMO

PREPAROS DO SOLO PARA EUCALIPTO EM SEGUNDA ROTAÇÃO: PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS E CRESCIMENTO INICIAL

AUTORA: Jéssica Silveira França

ORIENTADOR: José Miguel Reichert

Áreas de reforma de povoamentos florestais, que são cultivados em segunda rotação, podem ter a estrutura do solo compactada desde a superfície até camadas mais profundas, devido ao tráfego de máquinas durante as operações de colheita do plantio anterior, de primeira rotação. Técnicas de preparo do solo eficientes para reduzir a compactação e proporcionar um ambiente físico adequado ao crescimento e desenvolvimento do eucalipto, com a menor degradação ambiental e o menor custo de operações são necessárias. O estudo teve como objetivo avaliar o efeito dos sistemas de preparo do solo sobre as propriedades físicas do solo e o crescimento inicial do *Eucalyptus saligna* cultivado em segunda rotação em Argissolo Vermelho-Amarelo. O estudo foi conduzido em uma área de segunda rotação de eucalipto, em Arroio dos Ratos-RS. O delineamento experimental foi de blocos ao caso, com três repetições. Os sistemas de preparos do solo foram: subsolagem convencional, interrompido 4 a 4 m, no sentido do declive (SC); subsolagem em nível, sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco (SN); subsolagem com subsolador marca Savannah, mais camalhão, com rebaixador de toco (SS); e coveamento mecânico com equipamento Rotree (CR). Após o preparo do solo, foi realizado o plantio de mudas de *E. saligna*. Em cada sistema de preparo, nas camadas de 0,00–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,30, 0,30–0,60, 0,60–1,00 m foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada para a avaliação da densidade do solo (Ds), da porosidade total (Pt), da macroporosidade (Mac), da microporosidade (Mic), da retenção de água no solo, do conteúdo de água disponível (AD) e da resistência à penetração (RP). Amostras com estrutura alterada foram utilizadas para análise química do solo e complementação dos pontos da curva de retenção de água no solo em psicrômetro. Na camada 0,20–0,30 m a Ds ficou próxima a D_sc IHO para os preparos e no SN seu valor ultrapassou este limite. As subsolagens e o coveamento proporcionaram altos valores de Mac até a camada de 0,20–0,30 m. Na camada de 0,30–0,60 m houve diferença significativa, onde preparos SS, SC e SN proporcionaram maior Mac e o CR menor. Entre os sistemas de preparo a Mic foi significativamente maior no CR, SC e SN e menor no SS, na camada de 0,30–0,60 m. A AD evidenciou baixa disponibilidade de água às plantas em todos os preparos. A RP de bancada até 0,30 m foi inferior a 2 MPa em todos os preparos, enquanto que a resistência a campo teve valores de 2 MPa até 0,20 m. Em maior profundidade observou-se valores de RP restritivos ao desenvolvimento de plantas. O preparo SS, em área de reforma, proporcionou maiores benefícios às plantas no estágio inicial de desenvolvimento. Pela avaliação das propriedades físicas do solo não foi possível detectar o efeito do preparo do solo no estabelecimento inicial das plantas de *E. saligna*. A avaliação

do crescimento das plantas de *E. saligna* foi um bom indicador do efeito dos sistemas de preparo do solo no crescimento inicial.

Palavras-chave: compactação, cultivos florestais, mobilização do solo.

ABSTRACT

SOIL TILLAGES FOR EUCALYPTUS IN SECOND ROTATION: PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES AND INITIAL GROWTH

AUTHOR: Jéssica Silveira França

ADVISOR: José Miguel Reichert

Reforestation areas of forest plantation, which are cultivated in a second rotation, may have the soil structure altered by compaction from the surface to the deeper layers, because of the traffic of machines during harvesting operations of the previous planting, i.e. first rotation. Efficient soil preparation techniques are required to reduce compaction and provide an appropriate physical environment to the growth and development of eucalyptus, with the least environmental degradation and the lowest cost of operations. The aim of this study was to evaluate the effect of soil tillage systems on soil physical properties and the initial growth of *Eucalyptus saligna* in second rotation in an Ultisol. The study was carried out in a second rotation area of eucalyptus, in Arroio dos Ratos-RS. The experimental design was of randomized blocks, with three replications. Soil tillage systems were: conventional subsoiling, interrupted every 4 to 4 m, in the direction of slope (SC); subsoiling, crosswise the slope direction, with stump cutter (SN); subsoiling with Savannah subsoiler, plus ridge, with stump cutter (SS); and mechanical digging with Rotree (CR). After the soil tillage, *E. saligna* seedlings were planted. In each tillage system, in the layers 0.00-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.30, 0.30-0.60, 0.60-1.00 m soil samples with preserved structure were collected to evaluate the soil bulk density (Ds), total porosity (Pt), macroporosity (Mac), microporosity (Mic), soil water retention, available water content (AD) and penetration resistance (RP). Samples with altered structure were used for soil chemical analysis and water retention curve in the soil with psychrometer. In the layer of 0.20-0.30 m, the Ds was close to the BDc LLWR for the tillages and in the SN this value exceeded this limit. The subsoiling and the digging provided high values of Mac up to the layer of 0.20-0.30 m. In the layer of 0.30-0.60 m there was a significant difference, where SS, SC and SN preparations provided higher Mac and lower CR. Among the tillages systems Mic was significantly higher in CR, SC and SN and lower in SS, in the layer of 0.30-0.60 m. Soil AD revealed low water availability to plants in all treatments. The RP of bench up to 0.30 m was less than 2 MPa in all the tillages, while the field resistance had values of 2 MPa up to 0.20 m. At greater depth, restricting RP values for the development of plants were observed. The SS tillage in the reforestation area provided greater benefits to the plants in the initial stage of development. From the evaluation of the soil physical properties it was not possible to detect the effect of soil tillage on the initial establishment of *E. saligna* plants. Evaluation of the growth of *E. saligna* plants was a good indicator of the effect of soil tillage systems on initial growth.

Keywords: soil compaction, forest cultivation, soil mobilization.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Trincheira aberta na área de reforma para caracterização da área experimental (a) e aspecto geral dos resíduos remanescentes após a colheita florestal (b)..... 30
- Figura 2 – Grau de compactação do solo em área de reforma para o plantio de povoamentos de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS..... 36
- Figura 3 – Croqui da área experimental de reforma para o cultivo de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS..... 38
- Figura 4 – Máquinas e implementos utilizados no preparo do solo para a implantação de povoamentos de *E. saligna* em área de reforma, com detalhe o cabeçote coveador marca Rotree acoplado à máquina base Komatsu PC 160 (a), o subsolador marca Savannah, modelo Tomahawk 203 (b) e o subsolador marca DMB com 3 hastes (c). 41
- Figura 5 – Desbastador florestal acoplado à escavadeira Cat 320 D, utilizado nos tratamentos SN e SS. 42
- Figura 6 – (a) Subsolação com subsolador marca Savannah, mais camalhão, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco (SS), (b) Subsolação em nível, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco (SN), (c) Subsolação convencional, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido do declive, interrompido 4 a 4 m (SC) e (d) Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree (CR). 43
- Figura 7 – Resistência do solo à penetração, realizada em penetrômetro de bancada..... 50
- Figura 8 – Densidade do solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade..... 61

- Figura 9 – Porosidade total do solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.62
- Figura 10 – Macroporosidade do solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.64
- Figura 11 – Microporosidade do solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.65
- Figura 12 – Curva de retenção de água no solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.67
- Figura 13 – Conteúdo de água disponível no solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS 5%).69
- Figura 14 – Conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS 5%).69

- Figura 15 – Conteúdo volumétrico de água no ponto de murcha permanente para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS 5%). 70
- Figura 16 – Resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica (b) de um Argissolo submetido a quatro sistemas de preparo do solo em área de reforma para a implantação de povoamentos de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS. Preparo Convencional – SC, Coveamento mecânico com coveador marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com Subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS 5%). 72
- Figura 17 – Resistência do solo à penetração avaliada após o preparo do solo para a- Preparo Convencional – SC, b- Coveamento mecânico com coveador marca Rotree – CR, c- Preparo em Nível – SN e d- Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. 75
- Figura 18 – Umidade gravimétrica do solo avaliada após o preparo do solo no momento de medição da RP para a- Preparo Convencional – SC, b- Coveamento mecânico com coveador marca Rotree – CR, c- Preparo em Nível – SN e d- Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barras horizontais indicam a diferença mínima significativa (DMS 5%). 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição granulométrica, classe textural, densidade do solo crítica IHO (D_{sc} IHO), densidade do solo restritiva (D_{sc} Rest) e classificação do teor de cascalho do solo em área de reforma para o plantio de povoamentos de <i>E. saligna</i> , Arroio dos Ratos-RS.....	32
Tabela 2 – Média e desvio padrão da densidade do solo (D_s), porosidade total (P_t), macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic) do solo em área de reforma para o plantio de povoamentos de <i>E. saligna</i> , Arroio dos Ratos-RS.	35
Tabela 3 – Média e desvio padrão da resistência do solo à penetração (RP), da densidade do solo (D_s) e da umidade volumétrica (U_v) do solo em área de reforma para o plantio de povoamentos de <i>E. saligna</i> , Arroio dos Ratos-RS.....	35
Tabela 4 – Propriedades químicas do solo em área de reforma para o plantio de povoamentos de <i>E. saligna</i> , Arroio dos Ratos-RS.	37
Tabela 5 – Data das operações e procedimentos realizados em área de reforma para o plantio de povoamentos de <i>E. saligna</i> , Arroio dos Ratos-RS.....	39
Tabela 6 – Custo das operações silviculturais realizadas na área de reforma para a implantação de povoamentos de <i>E. saligna</i> , Arroio dos Ratos-RS.	54
Tabela 7 – Propriedades químicas do solo avaliadas pós o preparo em distintas camadas para os sistemas: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico, marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN, Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS na área de reforma.	58
Tabela 8 – Volume de solo mobilizado nos preparos do solo avaliados na área de reforma.	77
Tabela 9 – Porcentagem de sobrevivência em diferentes idades do <i>E. saligna</i> nos preparos do solo avaliados na área de reforma.	79
Tabela 10 – Altura em diferentes idades do <i>E. saligna</i> nos preparos do solo avaliados na área de reforma.....	80
Tabela 11 – Diâmetro à altura do peito em diferentes idades do <i>E. saligna</i> nos preparos do solo avaliados na área de reforma.	81

Tabela 12 – Valores médios de volume do E. saligna aos 330 dias nos preparos do solo avaliados na área de reforma.....	81
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Hipótese	18
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	Reflorestamento com eucalipto no Brasil	19
2.2	Degradação física do solo em áreas florestais	20
2.3	Efeito dos preparos sobre propriedades físicas do solo	22
2.4	Relação preparo do solo e crescimento do eucalipto	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Área experimental	29
3.1.1	Caracterização química e físico-hídrica antes do preparo do solo	30
3.2	Delineamento experimental e sistemas de preparo do solo	37
3.2.1	Preparo do solo	39
3.2.2	Adubação	44
3.2.3	Aplicação de herbicida	44
3.2.4	Plantio	44
3.3	Análise de custo operacional para a implantação do povoamento	45
3.4	Amostragem e avaliação das propriedades químicas e físico-hídricas do solo após o preparo e plantio de mudas.....	45
3.4.1	Propriedades químicas do solo	46
3.4.2	Propriedades físicas do solo	47
3.4.2.1	Resistência do solo à penetração.....	50
3.4.2.2	Solo mobilizado pelos sistemas de preparo	51
3.4.2.3	Crescimento inicial do E. saligna.....	52
3.5	Análise estatística.....	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1	Custos operacionais dos sistemas de preparo do solo	53
4.2	Propriedades químicas do solo	54
4.3	Propriedades físicas do solo	59
4.3.1	Resistência do solo à penetração	71
4.3.2	Solo mobilizado no preparo	76

4.3.3	Crescimento inicial do E. saligna	78
5	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS	83
	APÊNDICES	91
	ANEXO	98

1 INTRODUÇÃO

O mercado mundial de produtos de origem florestal aumentou sua demanda nas últimas décadas, o que proporcionou intensivas atividades de silvicultura, principalmente para atender os segmentos de papel, celulose e painéis de madeira (RIGGERT et al., 2016). Em 2015, o setor brasileiro de florestas destacou-se no cenário global, com área de florestas plantadas de 7,8 milhões de hectares, do qual 5,6 milhões de hectares foram cultivados com povoamentos de eucalipto (IBÁ, 2016).

A expressiva área cultivada com eucalipto pode ser atribuída à boa adaptação dessa cultura às condições edafoclimáticas brasileiras, à diversidade de usos de sua madeira e, ainda, à alta demanda no segmento de papel e celulose. No segmento da celulose, o Brasil se destaca entre os maiores produtores mundiais (IBÁ, 2016). A melhoria de tecnologias utilizadas nas operações silviculturais e o manejo ambiental adequado das florestas têm impulsionado o país a ocupar posição de destaque nesse setor.

A ampliação do mercado de produtos de origem florestal favoreceu a instalação de indústrias de papel e celulose no Rio Grande do Sul, o que levou à substituição de áreas anteriormente ocupadas com campo, utilizadas para pecuária e/ou com áreas agrícolas por plantios florestais, principalmente com espécies de eucalipto.

A expansão florestal em áreas tradicionalmente utilizadas com outros usos e em solo com capacidade de uso agrícola e pecuário requer planejamento do manejo para implantação florestal. O planejamento do manejo deve abranger técnicas mais efetivas para o estabelecimento da espécie florestal, que proporcionem melhoria nas propriedades físicas do solo e aumentem a produtividade dos cultivos florestais, com redução de custos e dos impactos negativos ao ambiente, tais como perdas de solo e nutrientes, causados pela erosão.

Uma técnica que pode ser utilizada para um manejo florestal sustentável e para o aumento da produtividade dos cultivos florestais é a produção em áreas de segunda rotação, chamadas de áreas de reforma. Nessas áreas, o plantio é realizado na entrelinha do plantio da primeira rotação, o que possibilita a manutenção da fertilidade do solo e a diminuição dos processos erosivos, proporcionados pela manutenção dos resíduos da colheita da primeira rotação.

Mesmo com os benefícios proporcionados pela produção em áreas de reforma, estas estão sujeitas à compactação do solo, inclusive em camadas mais profundas, proporcionada pelo intenso tráfego de máquinas durante as operações de colheita mecanizada e transporte. Além disso, a manutenção dos resíduos da colheita da primeira rotação pode dificultar a operação de preparo para o rompimento de camadas compactadas.

O preparo do solo é utilizado para romper camadas compactadas, facilitar o desenvolvimento radicular, permitindo maior exploração de solo para absorção de água e nutrientes, além de diminuir a competição entre plantas. O preparo influencia o estabelecimento inicial das mudas florestais e a uniformidade e produtividade da floresta (SASAKI et al., 2002). No entanto, a escolha do preparo varia de acordo com a finalidade e as características da área, como tipo de solo, relevo e presença de resíduos.

Em áreas de reforma, normalmente duas técnicas de preparo do solo são utilizadas, a subsolagem convencional e o coveamento manual ou mecânico. A subsolagem é realizada com uso de escarificadores que rompem camadas adensadas ou compactadas do solo, para proporcionar condições adequadas para o crescimento do sistema radicular e desenvolvimento de plantas. Essas adequadas condições de solo são à redução da densidade do solo e, por consequência, da resistência à penetração de raízes e o aumento da macroporosidade e dos fluxos de água e ar no solo (TAYLOR; BELTRAME, 1980). Dessa forma, a subsolagem proporciona maior crescimento em altura e diâmetro à altura do peito (Dap) das plantas durante a o crescimento inicial dos plantios florestais.

Nas áreas reforma, a estrutura do solo está sujeita à compactação em camadas mais profundas e, para algumas condições de solo e relevo, como a de solos pedregosos e áreas com relevo ondulado, a subsolagem convencional não tem sido eficiente para o rompimento de camadas profundas do solo e pode acentuar os processos erosivos do solo, não sendo eficiente para melhorar as condições de estabelecimento das mudas florestais e resulta em menor produtividade.

Uma alternativa à subsolagem, para o preparo do solo em áreas florestais, é o coveamento mecânico, que promove a mobilização do solo pela abertura de covas, sendo considerado um preparo reduzido do solo e indicado, principalmente, para áreas com relevo ondulado (BAPTISTA; LEVIEN, 2010). No setor florestal, para

maior eficiência nos preparos, atender requisitos de qualidade, reduzir custos das operações e estabelecer condições adequadas para as mudas, alguns equipamentos são fabricados para o coveamento mecânico, como o cabeçote coveador marca Rotree. Esse equipamento é mais robusto, possui hastes que penetram e desestruturam o solo, formando grandes covas e um preparo localizado do solo, sendo ideal para a realização do preparo do solo em áreas declivosas, principalmente com a intenção de reduzir as perdas de solo e nutrientes, e por revolver uma porção maior de solo pode melhorar o crescimento inicial das mudas florestais.

O conhecimento técnico e econômico sobre preparos alternativos do solo em áreas de reforma, para o plantio de eucalipto, com o coveamento ainda é incipiente. Nesse sentido, é essencial adquirir conhecimentos sobre o comportamento do solo com distintos preparos em área de reforma, de modo a melhorar as propriedades físicas do solo e permitir o crescimento adequado de plantas sem comprometer a conservação do solo.

1.1 Hipótese

O sistema de coveamento mecânico, com cabeçote coveador constituído de hastes que rompem e desestruturam o solo no momento da abertura de covas, é o sistema de preparo mais eficiente para a melhoria das propriedades físicas do solo favorecendo o estabelecimento e crescimento inicial do *Eucalyptus saligna* em áreas de segunda rotação florestal, em comparação às técnicas de subsolagem, pois possibilita o preparo localizado em áreas declivosas com a menor degradação do solo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Gerar informações para a orientação na tomada de decisão sobre o preparo do solo mais adequado para o rompimento de camadas profundas compactadas ou adensadas do solo, que proporcionem restrição ao desenvolvimento de raízes, em área de reforma para a produção de *Eucalyptus saligna* Smith.

1.2.2 Objetivos específicos

- a. Determinar o efeito de sistemas de preparo do solo com subsolagem e coveamento mecânico em área de reforma sobre a densidade, a porosidade, a retenção de água no solo e a resistência do solo à penetração.
- b. Indicar o sistema de preparo do solo que proporciona maior e menor volume de solo mobilizado.
- c. Determinar o efeito dos sistemas de preparo do solo com subsolagem e coveamento mecânico sobre as variáveis de crescimento e indicar o sistema de

preparo que proporciona o melhor desenvolvimento inicial de *Eucalyptus saligna* Smith em área de reforma.

d. Recomendar uma técnica de preparo do solo para áreas florestais de reforma, com base nas propriedades físicas do solo que proporcionem adequado crescimento e produtividade, com menores custos e impacto ambiental.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Reflorestamento com eucalipto no Brasil

O fortalecimento do setor florestal ocorreu de 1965 a 1988 no Brasil, devido aos incentivos monetários para a redução de custos na implantação das florestas, como o crédito subsidiado, o incentivo fiscal e à doação de insumos (ANTONANGELO; BACHA, 1998).

As espécies florestais mais utilizadas foram pertencentes aos gêneros *Pinus* ssp. e *Eucalyptus* ssp., devido à sua adaptabilidade ao clima e aos solos do país (ANTONANGELO; BACHA, 1998). O rápido crescimento e a adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras das espécies de eucalipto, que proporcionaram alta produtividade, favoreceram a sua produção em larga escala e utilização como matéria prima em fábricas de papel e celulose (DOSSA et al., 2002).

A área de florestas plantadas no Brasil foi de 7,8 milhões de hectares em 2015, em que 5,6 milhões de hectares são cultivados com plantios de eucalipto (IBÁ, 2016). No mesmo ano, a área de florestas plantadas com eucalipto no Rio Grande do Sul foi de 308.515 ha.

O cultivo de florestas de eucalipto tem proporcionado benefícios sociais, econômicos e ambientais. Os benefícios econômicos e sociais do cultivo de eucalipto estão relacionados à geração de emprego e renda em toda cadeia produtiva. No Rio Grande do Sul, o número de empregos mantidos direta e indiretamente pelo setor florestal foi de 210 mil em 2015 (AGEFLOR, 2016).

A obtenção de matéria prima oriunda de monocultivos com eucalipto, do ponto de vista ambiental, é uma alternativa à exploração de áreas de florestas nativas, principalmente devido ao seu rápido crescimento e alta produtividade

(DOSSA et al., 2002). Em sistemas agroflorestais, além de integrar o uso dos recursos naturais para a produção florestal, agrícola e pecuária, é possível conduzir os povoamentos florestais por meio do manejo sustentável, que pode melhorar os aspectos econômicos, ambientais e sociais de algumas regiões (VALE, 2004). Além disso, áreas florestais podem proporcionar aporte de carbono ao solo e aumento da fertilidade por meio da ciclagem de nutrientes (PAIXÃO, 2006). O dossel e a serapilheira dos povoamentos florestais, em monocultivo ou em sistemas integrados de produção, têm alta capacidade de interceptação da água da chuva, o que diminui as perdas de solo nos processos de erosão (ZHANG et al., 2000). Em relação ao consumo da água pelas plantações de eucalipto, Almeida e Soares (2003) compararam o uso da água entre plantações de eucalipto e floresta nativa, sendo que o eucalipto se compara à floresta nativa quanto à evapotranspiração e ao uso da água do solo.

Mesmo com esses benefícios existem incertezas sobre o impacto do cultivo de eucalipto sobre os recursos naturais, como mudança no regime hídrico, empobrecimento do solo e, devido ao monocultivo, possível prejuízo à biodiversidade local (VITAL, 2007).

2.2 Degradação física do solo em áreas florestais

A compactação do solo é uma das principais formas de degradação do solo frequentemente observada em áreas florestais (SAFFIH-ADADI et al., 2009). A degradação física do solo ocorre principalmente pela modificação na estrutura do solo, devido ao tráfego contínuo de máquinas e, como consequência, facilita o processo de erosão, que é outra forma de degradação observada nos solos florestais (SILVA et al., 2008).

O tráfego inadequado de máquinas é o principal motivo de compactação dos solos (STARTSEV; MCNABB, 2000). Com a modernização das atividades agrícolas, houve modificação no planejamento das máquinas, tornando-as mais robustas e aumentando seu peso e de seus implementos. Essa modificação intensificou o processo de compactação, com significativas alterações nas propriedades físicas do solo.

O aumento contínuo da carga aplicada no solo, aliada à pressão de inflação inadequada dos pneus, pode causar a degradação em camadas mais profundas do solo (RICHART et al., 2005). Diferentemente das áreas agrícolas ou de pecuária, a compactação em áreas florestais pode alcançar maior profundidade, em virtude do maior peso das máquinas, da intensidade do tráfego na operação de colheita e da maior umidade resultante do sombreamento causado pela copa das árvores e da manutenção dos resíduos vegetais sob o solo (REICHERT et al., 2007).

As mudanças nas propriedades físicas do solo causadas pela compactação incluem diminuição da infiltração de água no solo e, por consequência, do seu armazenamento, redução da porosidade total e da macroporosidade, aumento na densidade e na resistência à penetração de raízes, com consequente redução de produtividade das culturas (ARVIDSON; HÅKANSSON, 1991; RICHART et al., 2005; REICHERT et al., 2007).

A colheita florestal de um povoamento de eucalipto com sete anos de idade proporcionou alterações na estrutura do solo, conforme estudo de Silva et al. (2008) que avaliaram a compactação do solo e o crescimento do eucalipto de acordo com a intensidade de tráfego de um Forwarder. Segundo esses autores, a compactação acarretou em aumento da densidade, da microporosidade e da resistência do solo à penetração e redução da porosidade total, da macroporosidade e da infiltração de água no solo, e esses efeitos da compactação persistiram no solo após 441 dias do tráfego das máquinas.

O efeito do tráfego de máquinas florestais e suas consequências sobre a estabilidade do solo foram avaliadas por Riggert et al. (2016), que observaram que a operação de colheita da madeira realizada com máquinas florestais com rodas resultou em condições de instabilidade para as camadas superficiais e subsuperficiais do solo e promoveram compactação. Dedeczek e Gava (2005) observaram redução de dois terços na produtividade do eucalipto comparando linhas de tráfego e linhas sem tráfego de máquinas envolvendo a operação da colheita florestal, em consequência da compactação.

Face ao exposto, é indispensável a adoção de técnicas de manejo que minimizem os efeitos negativos causados pela compactação sobre as propriedades físicas do solo, para criar um ambiente adequado ao desenvolvimento das plantas.

2.3 Efeito dos preparos sobre propriedades físicas do solo

Um dos principais fatores para garantir a produtividade do sítio florestal é o ambiente físico, pois esse condiciona as propriedades físicas do solo responsáveis pelos fluxos de água, ar e calor no solo, resistência à penetração de raízes e disponibilidade de nutrientes (LAL, 1979). Contudo, a produtividade florestal pode ser reduzida em áreas florestais que estão continuamente sob a influência do tráfego de máquinas pesadas, pois alterações desfavoráveis ao crescimento de plantas são provocadas na estrutura do solo, causadas pelo processo de compactação.

Algumas práticas de preparo podem melhorar as propriedades físicas do solo e, por consequência, influenciar os fatores físicos que influenciam direta ou indiretamente o crescimento das plantas. O aumento da porosidade total e da macroporosidade do solo, por meio de práticas de preparo do solo, favorece a difusão de gases, a infiltração e a drenagem da água no solo. Um equilíbrio entre macroporos responsáveis pela aeração e infiltração de água e microporos, cuja função é a manutenção da água no solo, é fundamental para que estes processos ocorram de maneira adequada no solo e favoreçam o desenvolvimento de plantas. O solo deve ter uma macroporosidade maior do que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (TAVARES FILHO, 2013).

O revolvimento do solo é a prática mais utilizada para modificar as condições que determinam o ambiente de crescimento radicular (COLLARES et al., 2006). O revolvimento do solo, em áreas preparadas para o cultivo de eucalipto, promoveu redução da resistência à penetração e da densidade até 0,30 m de profundidade e favoreceu o estabelecimento e crescimento radicular do eucalipto, em um estudo de Prevedello et al. (2013).

Em área de reforma, Gatto et al. (2003) avaliaram o efeito do sistema de preparo de um Latossolo sobre a produtividade de *Eucalyptus grandis* e observaram pequenas alterações nas propriedades físicas do solo, como menores valores de densidade em consequência do revolvimento. Esses autores verificaram que o estabelecimento inicial de mudas e seu crescimento foram favorecidos pelo revolvimento mais intensivo do solo, devido à maior exploração radicular e, conseqüentemente, às melhores condições para absorção de água e nutrientes. Contudo, os efeitos do revolvimento não foram observados por Cavichiolo et al. (2005) em um estudo para avaliar o efeito do revolvimento do solo nas entrelinhas

em área de rebrota de *Eucalyptus saligna*, onde as propriedades físicas do solo não diferiram entre os sistemas de preparos utilizados.

O preparo do solo em áreas de reforma, até o final da década de 80, era realizado por meio da queima para eliminação dos resíduos vegetais do plantio anterior aliado ao revolvimento intenso da camada superficial do solo (GATTO et al., 2003). Essa prática era totalmente desfavorável à conservação do solo e favorecia a erosão, com perdas de partículas e nutrientes da camada mais fértil do solo. Além disso, esse sistema favorecia a rápida decomposição da matéria orgânica e perda de nutrientes.

A preocupação com a degradação ambiental levou à busca de alternativas para o manejo florestal sustentável com vistas à conservação do solo, que foi inserido aos sistemas de manejo com métodos mais eficientes e menos intensivos de preparo do solo. O preparo do solo em cultivo mínimo tem sido o mais utilizado na implantação de povoamentos florestais devido à baixa mobilização mecânica e à manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo (SASAKI; GONÇALVES, 2005). Nesse sistema de preparo, o revolvimento é feito apenas na linha de preparo do solo ou com a abertura de covas e, por isso, oferece vantagens como a manutenção da matéria orgânica do solo e a proteção do impacto da gota da chuva, amenizando a atuação dos processos erosivos, a melhoria da microfauna e da mesofauna do solo, conservação da umidade no solo e melhoria nas propriedades físicas do solo em longo prazo (SANCHES et al., 1995).

O cultivo mínimo promoveu a adoção das técnicas de preparo do solo, como a escarificação, a subsolagem convencional realizada no sentido do declive em áreas com relevo plano e o coveamento manual ou mecânico em áreas com relevo ondulado (SILVA et al., 2002).

A escarificação e a subsolagem são os métodos mais usados para o estabelecimento de plantações florestais, por proporcionarem maior sobrevivência e crescimento das mudas. Essas operações atingem profundidades maiores no solo e favorecem o crescimento do sistema radicular em maior profundidade. Além disso, esses sistemas expõem menor área de solo atenuando a erosão, (DEDECEK et al., 2007) reduzindo as perdas de solo e nutrientes, além de serem economicamente aceitáveis. No entanto, escarificação e a subsolagem podem ser menos eficientes em áreas de reforma, pois grandes quantidades de resíduos de colheita florestal

permanecem na superfície do solo e a disposição dos resíduos pode dificultar o preparo.

Os subsoladores são implementos equipados com uma barra porta-ferramentas, no qual é colocada uma haste de aço com ponteira, para aumentar o volume de solo preparado. O equipamento pode ser arrastado ou acoplado ao sistema hidráulico do trator. A haste pode ter diferentes formatos: reto, curva ou parabólica, sendo essa a mais utilizada no setor florestal pois exige menor força de tração. É possível também optar pela utilização de ponteira com ou sem asas, mas no setor florestal normalmente não é empregada utilização de asas, pois a ponteira com asas pode aumentar a demanda da força de tração (SASAKI et al., 2005). A inserção das asas de 42 cm de largura na ponteira do subsolador aumentou em 40% a força de tração e aumentou o volume de solo mobilizado, comparado ao subsolador sem asas na ponteira (SPOOR e GODWIN, 1978). Bentivenha (2001) observou que o uso de ponteiros com asas proporcionou aumento na área e volume de solo mobilizado, mas sem influência no crescimento inicial do eucalipto.

A subsolagem é o preparo do solo mais utilizado na implantação de povoamentos florestais, por proporcionar maior crescimento de plantas (SCHUMACHER et al., 2002; DEDECEK et al., 2007; BAPTISTA; LEVIEN; 2010). Essa técnica apresenta vantagens como grande volume de solo preparado, o rápido crescimento inicial, maior índice de sobrevivência, menor incidência de plantas daninhas e alto rendimento operacional.

Existem diferentes tipos de subsolagem e equipamentos para sua realização. A subsolagem é realizada na linha de plantio com uma ou três hastes e a operação atinge profundidades superiores a 0,35 m (SILVEIRA et al., 1988), geralmente com atuação de 40 a 50 cm de profundidade (SCHUMACHER et al., 2002), mas em áreas florestais com solos mais argilosos com alta coesão a profundidade necessária pode ser de 1,10 m (STAPE et al., 2002).

A subsolagem convencional é realizada no sentido do declive, com um subsolador com uma ou mais hastes, e normalmente atinge no máximo 40 cm de profundidade (DEDECEK et al., 2007), sendo utilizada em áreas mais planas ou com relevo suave ondulado, devido à menor suscetibilidade do solo a erosão, quando realizada morro abaixo é necessário interromper a operação, visando reduzir as perdas de solo.

A subsolagem profunda, nas áreas florestais, é geralmente realizada no sentido perpendicular ao declive, quando as condições de solo para o crescimento radicular em maior profundidade não são favoráveis, no entanto é uma operação de alto consumo energético, mais onerosa, aumentando os custos de implantação do povoamento. Esse tipo de subsolagem é utilizado para remover os efeitos negativos da compactação do solo e melhorar as condições de solos que possuem camadas mais densas, como hardpans, o que a torna uma técnica padrão para romper horizontes subsuperficiais mais densos, que potencialmente limitam o crescimento radicular e infiltração da água no perfil (HAMZA; ANDERSON, 2005).

Em culturas agrícolas, uma avaliação do efeito da subsolagem profunda na cultura do milho foi realizada por Hongguang et al. (2014) nas profundidades de 30 cm e 50 cm, as subsolagens aumentaram significativamente o peso dos grãos de milho em 23,7 e 26,7% respectivamente, no segundo ano de avaliação em comparação ao tratamento controle, que não recebeu subsolagem. No quarto ano de avaliação houve diferença na biomassa e produtividade, o preparo a 50 cm aumentou em 8,6 e 8,8%, respectivamente, comparado à subsolagem a 30 cm. Esses autores destacam que a subsolagem em profundidades maiores melhorou a morfologia da raiz e a resistência ao estresse ambiental, características que favorecem um alto rendimento.

Para áreas florestais, após a colheita de um povoamento de eucalipto com 15 anos de idade, em segunda rotação, o preparo do solo com coveamento mecânico resultou em menor produtividade em comparação à subsolagem no sentido do declive, mas teve os menores valores de erosão do solo (BAPTISTA; LEVIEN, 2010). No estudo de Dedecek et al. (2007), foram avaliados distintos preparos, coveamento e subsolagens com a finalidade de melhorar as condições de solo, evitar problemas de erosão e diminuir os custos de implantação florestal, concluindo que o preparo reduzido com coveamento manual e mecânico não acarretaram em diminuição do crescimento da cultura florestal.

As propriedades físicas do solo comumente utilizadas como indicador do efeito dos sistemas de preparo e qualidade física do solo são a densidade e a resistência do solo à penetração. A densidade do solo é utilizada, pois é de fácil determinação e baixo custo, sofre alterações com práticas de manejo do solo, principalmente devido ao tráfego de máquinas nas operações agrícolas ou florestais.

Limites críticos de densidade do solo foram propostos de acordo com sua classificação textural, 1,45 Mg m⁻³ para solos com textura argilosa (> de 55% de argila), 1,55 Mg m⁻³ para solos de textura média (20 e 55% de argila) e 1,65 Mg m⁻³ para textura arenosa (< 20% de argila) (REICHERT et al., 2003). Em estudo de Reichert et al. (2009a), propuseram a utilização de limites a partir de duas equações, uma considerando a densidade crítica do intervalo hídrico ótimo (D_{sc} IHO) e outra a densidade do solo restritiva (D_{sc} Rest) estimada pelo conteúdo de argila do solo.

Para culturas anuais, valores de parâmetros físicos têm sido sugeridos como críticos ou restritivos para o crescimento e produtividade, mas para as áreas florestais informações a respeito de limites críticos de características físico-hídricas são escassos. O estudo de Suzuki et al. (2012), que visou definir limites críticos de propriedades físico-hídricas para áreas sob floresta, mostrou que valores baseados em restrições ao crescimento e rendimento de culturas anuais ou no intervalo hídrico ótimo são efetivos para o eucalipto.

A resistência do solo à penetração, que é uma propriedade física de maior interesse e usualmente medida, é indicada como um fator limitante no estabelecimento e desenvolvimento das plantas e varia de acordo com a espécie e o tipo de solo (RICHART et al., 2005). A resistência mecânica do solo tem sido determinada como uma das maneiras para verificar o estado de compactação do solo, por estar intimamente relacionada com o crescimento de plantas (KAISER et al., 2009). É utilizada para verificar os efeitos provocados pelos sistemas de manejo do solo, pois essa propriedade é mais sensível do que a densidade (KLEIN, 2014).

A resistência do solo à penetração está relacionada com a densidade e com a umidade do solo (TORMENA et al., 2002; COLLARES et al., 2006; REICHERT et al., 2009b). Em condição de alta umidade no solo verifica-se menor resistência do solo à penetração; no entanto, à medida que o solo se torna mais seco, este comportamento se altera e a resistência do solo à penetração pode atingir altos valores, limitantes ao crescimento de raízes (COLLARES et al., 2006). O aumento da densidade pode acarretar na acomodação de partículas do solo, influenciando no aumento da resistência à penetração (PREVEDELLO et al., 2013).

A resistência à penetração considerada limitante ou restritiva ao crescimento de plantas é de 2 MPa (TAYLOR et al., 1966; COLLARES et al., 2006). Entretanto, para culturas florestais, Misra e Gibbons (1996) observaram que as raízes de eucalipto são mais tolerantes à resistência mecânica do solo de 2 MPa, comumente

descrita como restritiva às culturas agrícolas, pois observaram redução de 71% das raízes primárias e 31% das raízes laterais de eucalipto com aumento de 0,4 a 4,2 MPa. Sands et al. (1979) investigaram a resistência à penetração em solo de textura média e concluíram que valores de resistência maiores que 3 MPa prejudicaram o crescimento de raízes de pinus. Dedecek et al. (2007) avaliaram a influência dos sistemas de preparo do solo no crescimento de eucalipto, observaram valores de resistência à penetração acima de 3 MPa, afastando-se da linha de preparo, e que este foram prejudiciais ao crescimento do eucalipto.

2.4 Relação preparo do solo e crescimento do eucalipto

A eficiência dos sistemas de preparo do solo, com menor dispêndio de custos, melhor aproveitamento do maquinário e minimização dos impactos ambientais pode resultar em maior produtividade dos cultivos florestais (COSTA et al., 2002).

A técnica da subsolagem tem se firmado em áreas destinadas para implantação de povoamentos florestais (SASAKI; GONÇALVES, 2005). A subsolagem rompe as camadas compactadas do solo e, assim, traz benefícios para o estabelecimento da muda florestal, pois diminui a resistência à penetração de raízes, aumenta a aeração e infiltração de água e, por consequência, diminui o escoamento superficial (TAYLOR; BELTRAME, 1980). No entanto, a subsolagem pode atender a outro objetivo como realizar abertura de uma porção de solo na linha de plantio e, assim, facilitar o enraizamento das mudas e aumentar a aeração e o conteúdo de água no solo (GONÇALVES et al., 2002; SASAKI et al., 2002).

Mesmo que a utilização da subsolagem seja eficiente para uso em cultivo mínimo, as áreas de cultivo em relevo ondulado demandam um sistema de preparo menos intensivo, para evitar a erosão do solo, já que essa técnica geralmente é realizada em condições de declividade de 10 a 12% e que a definição do implemento para o preparo do solo é função da declividade do terreno e do grau de adensamento ou compactação do solo (SILVA et al., 2002).

Uma técnica que vem sendo utilizada na operação de preparo do solo nessas áreas é o coveamento mecânico (GONÇALVES; STAPE, 2000). A técnica de coveamento pode ser realizada com coveador mecânico ou manual (SIXEL, 2009) e consiste na abertura de covas, com finalidade de romper camadas compactadas ou adensadas de uma porção de solo, visando ao melhor enraizamento das plantas.

Alguns equipamentos podem ser utilizados para tal proposta, como um motocoveador (SIXEL, 2009) e um coveador mecânico duplo, que consiste em um par de brocas giratórias acoplada a um trator de pneus (BAPTISTA; LEVIEN, 2010).

O preparo mecanizado do solo com coveador mecânico duplo é realizado em duas linhas concomitantemente e é indicado para áreas com declividade em torno de 12 a 35%, com as covas de dimensões de 30-35 cm de diâmetro e 30-50 cm de profundidade (SILVA et al., 2002). Nessa operação não é possível conciliar a aplicação de fertilizante, além do espaçamento entre linhas que é fixo na barra porta ferramentas, de 3 m e o espaçamento entre plantas de 2 m, mas pode ser definido pelo deslocamento das rodas. Além disso, em áreas irregulares e de difícil acesso, é mais indicada a realização do coveamento manual.

O preparo semi-mecanizado é indicado para áreas com declividade superior a 35%, sendo o método mais convencional de preparo, realizado com equipamento motocoveador (SILVA et al., 2002). Necessita de operação manual, aumentando os riscos de acidente, elevando o custo da operação e, às vezes, diminuindo a qualidade do preparo.

Alternativas que substituam as operações manuais, principalmente pela falta de mão de obra, pelo elevado custo e risco de acidentes, conduzem as empresas a optar pelo preparo mecanizado, almejando que o preparo seja executado com maior eficiência, menor consumo de energia, maior qualidade, seja economicamente viável e resulte em altas produtividades.

Equipamentos modernos estão sendo lançados no mercado para cumprir esta função, como equipamento coveador Rotree[®]. Com esse equipamento, o preparo do solo é realizado por meio de duas hastes que penetram e desestruturam o solo de forma circular, acionadas por um motor hidráulico (MATTOS et al., 2014). O cabeçote coveador Rotree[®] é um equipamento que surge como uma opção ao preparo mecanizado, com a vantagem de mobilizar maior volume de solo em relação aos demais métodos de coveamento e avançar sobre declividades mais acentuadas que um coveador duplo. Além dessas vantagens, é possível conjugar a operação de aplicação de herbicida e adubação (IPEF, 2013).

O desenvolvimento a uniformidade e produtividade do povoamento de eucalipto sob diferentes métodos de preparo do solo em área com relevo ondulado foi avaliado por Mattos et al. (2014) com objetivo de destacar as diferenças entre o preparo mecanizado realizado pelo coveador mecânico, marca Rotree e o método

convencional. Esses autores verificaram que o sistema mecânico de preparo do solo apresentou vantagens operacionais e ergonômicas em relação ao método convencional de preparo, demonstrando maior uniformidade e produtividade do povoamento. Esse equipamento precisa ser testado e avaliado para obtenção de informações a respeito do seu desempenho e quanto sua potencialidade no sistema de preparo do solo e no crescimento de plantas. Todavia, na operação de implantação florestal é desejável a redução do custo, o aumento da produtividade e minimização das possíveis perturbações no ambiente. Por isso, essas operações devem ser adequadamente planejadas, com aperfeiçoamentos das técnicas de preparo para proporcionar um aumento da eficiência das operações, com melhorias no preparo do solo, com menor consumo de energia e custos mínimos de produção.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O estudo foi conduzido em uma área de reforma destinada ao cultivo de clones de eucalipto, no Horto Florestal Mangueira, pertencente à empresa Celulose Riograndense (CMPC). A área está localizada em Arroio dos Ratos, região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul (RS) (FORTES, 1959), entre as coordenadas geográficas 30° 25' 23,2" de latitude Sul e 51° 81' 65,0" de longitude Oeste.

O solo da área é um Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico/Alumínico típico/abrupto (Anexo A). O clima da região é do tipo Cfa subtropical úmido, de acordo com a classificação climática de Köppen, com temperatura média anual de 14,9 °C e precipitação média anual de 1325 mm (MORENO, 1961).

A área era utilizada para produção pecuária em campo nativo antes de ser incorporada ao sistema de produção florestal. Para iniciar o cultivo florestal, a área foi submetida à operação de subsolagem com um subsolador de três hastes e um trator de esteira Komatsu D-50. Após, a área foi cultivada com *Eucalyptus saligna* Smith e com 25 anos de idade, foi submetido à colheita em junho de 2015, com uso de um Harvester, máquina base Volvo, modelo EC210 (21,6 t), cabeçote Valmet

270, com número de passadas de 7 a 13 vezes. Um Forwarder (17,5 t) foi utilizado para a extração florestal e para o baldeio, com número de passadas variando entre 8 e 12 vezes na área.

Após a colheita florestal, os resíduos remanescentes foram quantificados numa microparcela delimitada com o auxílio de um quadro de madeira de 1 m² lançado de forma aleatória na área; posteriormente, os resíduos foram classificados. Os resíduos coletados nessa área foram secos em estufa a 65 °C para determinação da umidade e obtenção da massa seca. Do total de biomassa acima da superfície do solo (101,78 Mg ha⁻¹), a madeira (38,98 Mg ha⁻¹) foi retirada da área, que permaneceu com 62,8 Mg ha⁻¹ de resíduos sobre o solo, compostos por galhos (4,74 Mg ha⁻¹), cascas (7,72 Mg ha⁻¹) e folhas (50,34 Mg ha⁻¹) (Figura 1).

Figura 1 – Trincheira aberta na área de reforma para caracterização da área experimental (a) e aspecto geral dos resíduos remanescentes após a colheita florestal (b).



Fonte: Autor.

3.1.1 Caracterização química e físico-hídrica antes do preparo do solo

A caracterização química e físico-hídrica da área de reforma para plantio de *E. saligna* foi realizada em 28 de setembro de 2015, antes do preparo do solo, para

uma avaliação geral do solo do local e para servir como base para o planejamento de adubação e preparo do solo para plantio em segunda rotação.

Amostras de solo com estrutura preservada e alterada foram coletadas em 15 pontos distribuídos na área de 45000 m², com a finalidade de abranger as distintas condições de relevo e de resíduos distribuídos sobre a superfície do solo (Figura 1), no meio das camadas de 0,00–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,30, 0,30–0,60 e 0,60–1,00 m de profundidade.

Em cada camada, 20 amostras de solo com estrutura preservada coletadas em cilindros metálicos com 5,7 cm de diâmetro e 4,0 cm de altura, totalizando 100 amostras por bloco, foram utilizadas para a determinação da porosidade total (Pt), da macroporosidade (Mac), da microporosidade (Mic), da densidade do solo (Ds), da resistência do solo à penetração (RP) e do grau de compactação (GC).

Nas mesmas camadas, amostras de solo com estrutura alterada foram coletadas para determinação da distribuição granulométrica do solo e para as análises químicas de pH em água (pH_{H₂O}), matéria orgânica do solo (MO), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V).

A distribuição granulométrica do solo indica elevados teores de frações grossas, principalmente da fração cascalho (2-20 mm) (Tabela 1). A classificação da distribuição granulométrica variou de cascalhenta, com 150 g kg⁻¹ e 500 g kg⁻¹ de cascalho (camada 0,00–0,10, 0,10–0,20, 60–1,00 m), a muito cascalhenta, com mais de 500 g kg⁻¹ de cascalho (camada 0,20–0,30 e 0,30–0,60 m) (EMBRAPA, 2013).

Tabela 1 – Distribuição granulométrica, classe textural, densidade do solo crítica IHO (D_{s_c} IHO), densidade do solo restritiva (D_{s_c} Rest) e classificação do teor de cascalho do solo em área de reforma para o plantio de povoamentos de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS.

Camada	Areia		Silte	Argila	Cascalho	Classe textural	Teor de cascalho	D_{s_c} IHO	D_{s_c} Rest
	Grossa	Fina							
mg kg ⁻¹				%				
0,00–0,10	473,61	123,22	168,49	234,68	40,90	Franco argilo arenoso	Cascalhenta	1,65	1,70
0,10–0,20	416,13	121,82	181,42	280,62	41,81	Franco argilo arenoso	Cascalhenta	1,62	1,66
0,20–0,30	291,45	88,39	201,80	418,37	67,38	Argila	Muito cascalhenta	1,51	1,56
0,30–0,60	165,61	44,30	180,76	609,33	56,81	Muito argiloso	Muito cascalhenta	1,36	1,43
0,60–1,00	130,49	64,61	208,88	596,03	45,04	Argila	Cascalhenta	1,37	1,44

A densidade, comumente utilizada como um indicador do estado de compactação, variou de 1,42 e 1,51 Mg m⁻³, respectivamente nas camadas 0,00–0,10 e 0,10–0,20 m, valores que estão abaixo do valor crítico para D_{s_c} IHO e D_{s_c} Rest (REICHERT et al., 2009a) (Tabela 2). Nas camadas mais profundas (0,20–0,30, 0,30–0,60 e 0,60–1,00 m), os valores de D_s encontrados foram 1,54, 1,41 e 1,44 Mg m⁻³, respectivamente (Tabela 2). Esses valores de densidade estavam acima do proposto para densidade crítica (D_{s_c} IHO) e muito próximos aos valores para D_{s_c} Rest (REICHERT et al., 2009a) (Tabela 1). Principalmente na camada 0,20–0,30 m, onde o valor de D_s é superior ao de densidade crítica para os dois referenciais, o que poderia limitar o crescimento de plantas. No caso das demais camadas, os valores de D_s estão próximos, principalmente na camada 0,60–1,00 m, mas inferior ao limite considerado crítico (REICHERT et al., 2009a).

A porosidade total foi maior nas camadas 0,30–0,60 e 0,60–1,00 m, provavelmente devido aos maiores valores de microporosidade do solo (Tabela 2). Os valores parecem adequados, pois para solos arenosos a P_t deve estar entre de 0,35 a 0,50 m³ m⁻³ enquanto que para os argilosos, entre 0,40 a 0,65 m³ m⁻³.

As maiores macroporosidades foram observadas nas camadas mais superficiais (0,00–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,30 m). Contrários aos valores de Mac, a Mic foi maior nas camadas mais argilosas, de 0,30–0,60 m e 0,60–1,00 m de profundidade (Tabela 2).

A menor resistência do solo à penetração, determinada em penetrômetro de bancada, foi observada na camada superficial, com incremento dos valores em maior profundidade (Tabela 3). Nas camadas subsuperficiais do solo (0,30–0,60 e 0,60–1,00 m), a RP foi maior, próxima a 2 MPa, valor considerado restritivo ao crescimento de raízes. A RP do solo e a umidade volumétrica (U_v) possuem relação negativa (LIMA et al., 2007; PREVEDELLO et al., 2013). No entanto, comportamento inverso entre a RP e a U_v foi observado, pois as condições de maior umidade do solo foram também as de maiores valores de RP.

O grau de compactação do solo foi calculado para a caracterização da área de estudo, com a finalidade de inferir sobre o estado de compactação. O cálculo foi baseado na densidade crítica (D_{s_c}) do solo com base no Intervalo Hídrico Ótimo (D_{s_c} IHO) (Equação 1) e na densidade do solo restritiva (D_{s_c} Rest) (Equação 2) (REICHERT et al., 2009a).

$$D_{sc \text{ IHO}} = - 0,00078 \text{ Teor de argila} + 1,83803 \quad \text{Equação 1}$$

$$D_{sc \text{ Rest}} = - 0,00071 \text{ Teor de argila} + 1,86180 \quad \text{Equação 2}$$

Em que: $D_{sc \text{ IHO}}$ = densidade do solo crítica (g cm^{-3}); Argila = teor de argila (g kg^{-1}).
 $D_{sc \text{ Rest}}$ = densidade do solo restritiva (g cm^{-3}); Argila = teor de argila (g kg^{-1}).

$$GC = \frac{D_s}{D_{s_{Ref}}} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Em que: GC é grau de compactação expresso em porcentagem; D_s é a densidade do solo; $D_{s_{Ref}}$ é a densidade de referência ou densidade máxima do solo.

O grau de compactação (GC), que é uma propriedade utilizada para inferir sobre alterações na estrutura do solo, na camada superficial foi de 84%, atingindo um valor de 100% na camada mais profunda, 0,60–1,00 m (Figura 2). No entanto, deve ser salientado que esses valores podem ser influenciados pela maior densidade do cascalho presente no solo, já que nas camadas subsuperficiais os teores desse material são mais altos (Tabela 1), aumentando o grau de compactação do solo. O cascalho ocupou um volume significativo nas amostras de solos, mais de 50% do cilindro.

Os sólidos do solo são originados de diversos materiais, logo apresentam densidades diferentes; dessa forma, a presença de alguns materiais pode auxiliar no aumento da densidade do solo. Comparando diferentes solos ou camadas, encontra-se grande amplitude nos valores de densidade, reflexo tanto da estrutura quanto da textura do solo. Em relação a textura, a tendência é que solos compostos principalmente por areia ou cascalho apresentem maior densidade.

Todavia, o acúmulo de argila no horizonte B, característico do Argissolo, evidencia a necessidade dos cuidados no manejo referentes à compactação do solo em áreas de reforma, para que as condições adequadas ao desenvolvimento de plantas, principalmente das propriedades físicas sejam atendidas.

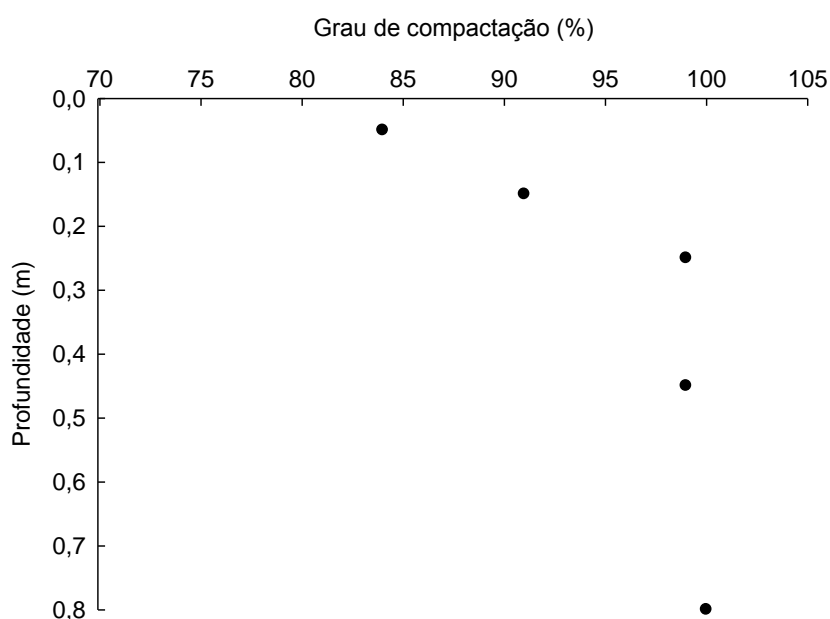
Tabela 2 – Média e desvio padrão da densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic) do solo em área de reforma para o plantio de povoamentos de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS.

Camada	Ds		Pt		Mac		Mic	
m	Mg m ⁻³		m ³ m ⁻³		m ³ m ⁻³		m ³ m ⁻³	
0,00–0,10	1,42	±0,04	0,41	±0,05	0,21	±0,03	0,20	±0,03
0,10–0,20	1,51	±0,02	0,41	±0,04	0,22	±0,02	0,19	±0,02
0,20–0,30	1,54	±0,02	0,41	±0,02	0,22	±0,02	0,20	±0,01
0,30–0,60	1,41	±0,01	0,45	±0,02	0,15	±0,00	0,30	±0,03
0,60–1,00	1,44	±0,01	0,45	±0,02	0,12	±0,01	0,34	±0,02

Tabela 3 – Média e desvio padrão da resistência do solo à penetração (RP), da densidade do solo (Ds) e da umidade volumétrica (Uv) do solo em área de reforma para o plantio de povoamentos de *E saligna*, Arroio dos Ratos-RS.

Camada	RP		Ds		Uv	
m	MPa		Mg m ⁻³		m ³ m ⁻³	
0,00–0,10	1,15	±0,61	1,45	±0,08	0,17	±0,05
0,10–0,20	1,42	±0,80	1,53	±0,11	0,17	±0,03
0,20–0,30	1,43	±0,68	1,51	±0,11	0,17	±0,02
0,30–0,60	1,98	±0,97	1,39	±0,14	0,28	±0,03
0,60–1,00	2,31	±0,77	1,41	±0,07	0,33	±0,03

Figura 2 – Grau de compactação do solo em área de reforma para o plantio de povoamentos de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS.



O $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ foi menor que 5,0 para todas as camadas avaliadas, o que favorece a presença de Al no solo (Tabela 4). O teor de matéria orgânica, que é a principal fonte de nitrogênio (N) para as plantas, foi classificado como baixo na área experimental. Os teores de P estão abaixo do considerado suficiente, com a necessidade de reposição desse nutriente. Apenas na camada superficial do solo (0,00–0,10 m), o P foi mais alto; no entanto, considerado baixo para a classe textural em que se enquadra, nas demais camadas o teor de P foi considerado muito baixo.

Os teores de K estão adequados para todas as camadas, variando entre muito alto na camada de 0,00–0,10 m, alto para as camadas 0,10–0,20, 0,20–0,30 e 0,60–1,00 m, e médio na camada 0,30–0,60 m. Por outro lado, os valores de Ca não estão dentro do limite considerado adequado, pois seus teores estão abaixo de $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em todas as camadas. Os teores de Mg também estão baixos ($< 0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), apenas na camada de 0,60–1,00 m seu teor é considerado médio.

A saturação por bases está menor do que 40%, o que indica a necessidade de calagem na área (GONÇALVES, 2005) visto que a saturação por alumínio está alta, embora o eucalipto seja tolerante à acidez e ao Al. A dose média recomendada de calcário para áreas de eucalipto é de $1,0$ a $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ (SILVEIRA et al., 2001).

Tabela 4 – Propriedades químicas do solo em área de reforma para o plantio de povoamentos de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS.

Camada	pH_{H2O}	MO	P	K	Ca	Mg	Al	m	V
m		%	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³		%	
0,00–0,10	4,0	2,5	5,3	187,2	1,4	0,5	3,3	58	14
0,10–0,20	4,0	2,1	3,2	118,9	0,7	0,2	3,9	75	8
0,20–0,30	4,0	1,8	2,3	109,1	0,6	0,2	4,2	79	7
0,30–0,60	4,1	1,3	1,5	83,5	0,6	0,4	4,5	79	8
0,60–1,00	4,5	0,7	1,4	60,8	0,8	0,7	3,3	67	15

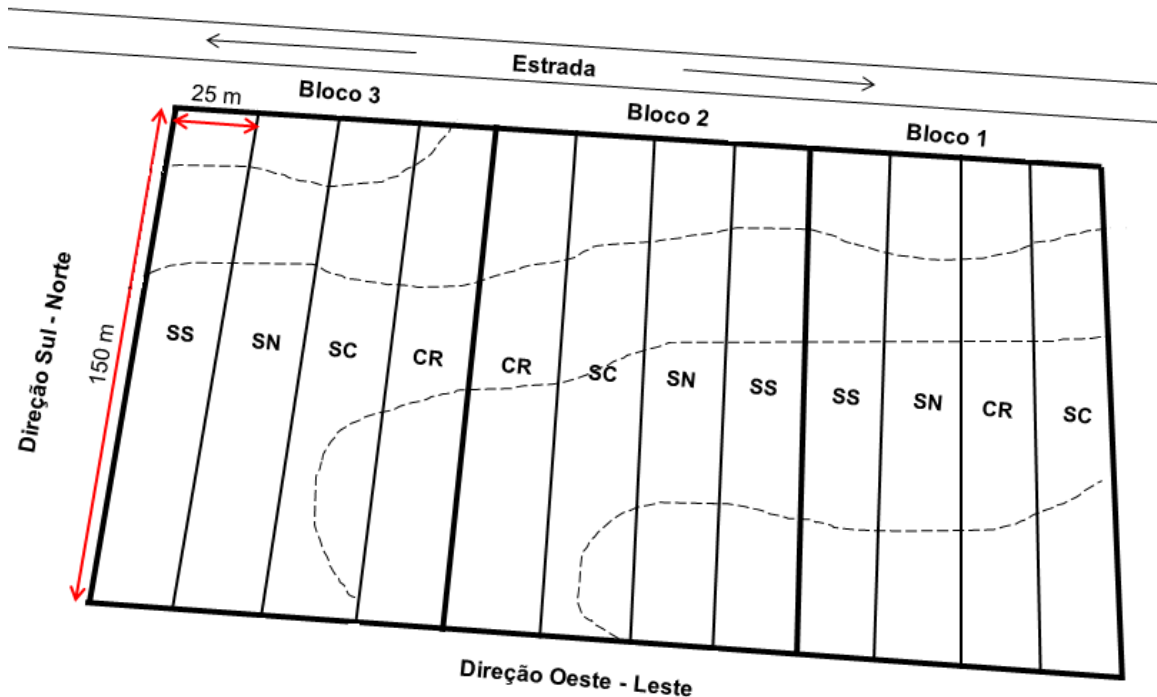
pH_{H2O}- pH em água; MO- matéria orgânica; P- fósforo; K- potássio Ca- Cálcio; Mg- magnésio; Al- alumínio; m- saturação por Al; V- saturação por bases.

3.2 Delineamento experimental e sistemas de preparo do solo

O delineamento experimental foi determinado considerando-se as características da área, como relevo desuniforme. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições (Figura 1). As parcelas, com dimensões de 25 m de largura x 150 m de comprimento (3750 m²), foram dispostas com seu comprimento no sentido do declive para abranger a heterogeneidade das condições de relevo e de solo (Figura 3).

A implantação de povoamentos de *E. saligna* na área de reforma foi realizado mediante quatro operações: (i) preparo do solo; (ii) adubação; (iii) aplicação de herbicida de pré-emergência (iv) plantio das mudas (Tabela 5).

Figura 3 – Croqui da área experimental de reforma para o cultivo de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS.



- 1- Subsolagem convencional, com subsolador três hastes, haste de 70 cm, marca DMB, com trator de esteira, profundidade de atuação de 45-50 cm, realizado no sentido do declive, interrompido 4 a 4 m (SC);
- 2- Subsolagem em nível, com subsolador três hastes, haste de 70 cm, marca DMB, com trator de esteira, com profundidade de atuação de 45-50 cm, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco (SN).
- 3- Subsolagem com subsolador marca Savannah, mais camalhão, haste de 0,80-1,00 m, com profundidade de atuação de 60 cm, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco (SS).
- 4- Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree, realiza abertura de covas de 70 cm de diâmetro e 70 cm de profundidade (CR).

Tabela 5 – Data das operações e procedimentos realizados em área de reforma para o plantio de povoamentos de *E saligna*, Arroio dos Ratos-RS.

Data	Operação realizada
1990	Área utilizada para produção florestal
06/2015	Colheita do <i>Eucalyptus</i>
28/09/2015	Caracterização química e físico-hídrica
12/10/2015	Calagem
29/10/2015	Preparo e adubação do solo
12/11/2015	Plantio das mudas
17/11/2015	Aplicação de herbicida de pré-emergência
30/11/2015	Replante das mudas
28/02/2016	Amostragem de solo

3.2.1 Preparo do solo

O preparo do solo foi realizado em 29 de outubro de 2015 com uso de duas técnicas: a subsolagem e o coveamento mecânico (Tabela 5). A subsolagem é a técnica normalmente utilizada para o preparo do solo para a implantação de povoamentos de eucalipto, enquanto o coveamento mecânico consiste em uma nova técnica para o preparo do solo em áreas com relevo ondulado, considerado um preparo menos intensivo do solo, mas que levaria a maior sustentabilidade da produção florestal.

Os sistemas de preparo com base nessas duas técnicas foram:

1 – Subsolação convencional (SC): o SC consistiu de subsolação com subsolador três hastes, haste de 70 cm de comprimento, marca DMB, com trator de esteira, profundidade de atuação de 45-50 cm (Figura 4c). O preparo foi realizado no sentido do declive e o subsolador foi levantado de 4 a 4 metros, aproximadamente, para dar descontinuidade ao preparo, pois o preparo, nessa área com relevo ondulado, não pode ser realizado continuamente porque favorece o processo de erosão.

2 - Subsolação em nível (SN): o SN consistiu em subsolação com subsolador três hastas, haste de 70 cm de comprimento, marca DMB com trator de esteira, profundidade de atuação de até 45-50 cm (Figura 4c). Antes da realização do preparo foi feito o rebaixamento dos tocos remanescentes, com um desbastador florestal que foi acoplado a uma escavadeira Cat 320 D (Figura 5). O preparo foi realizado no sentido transversal ao declive.

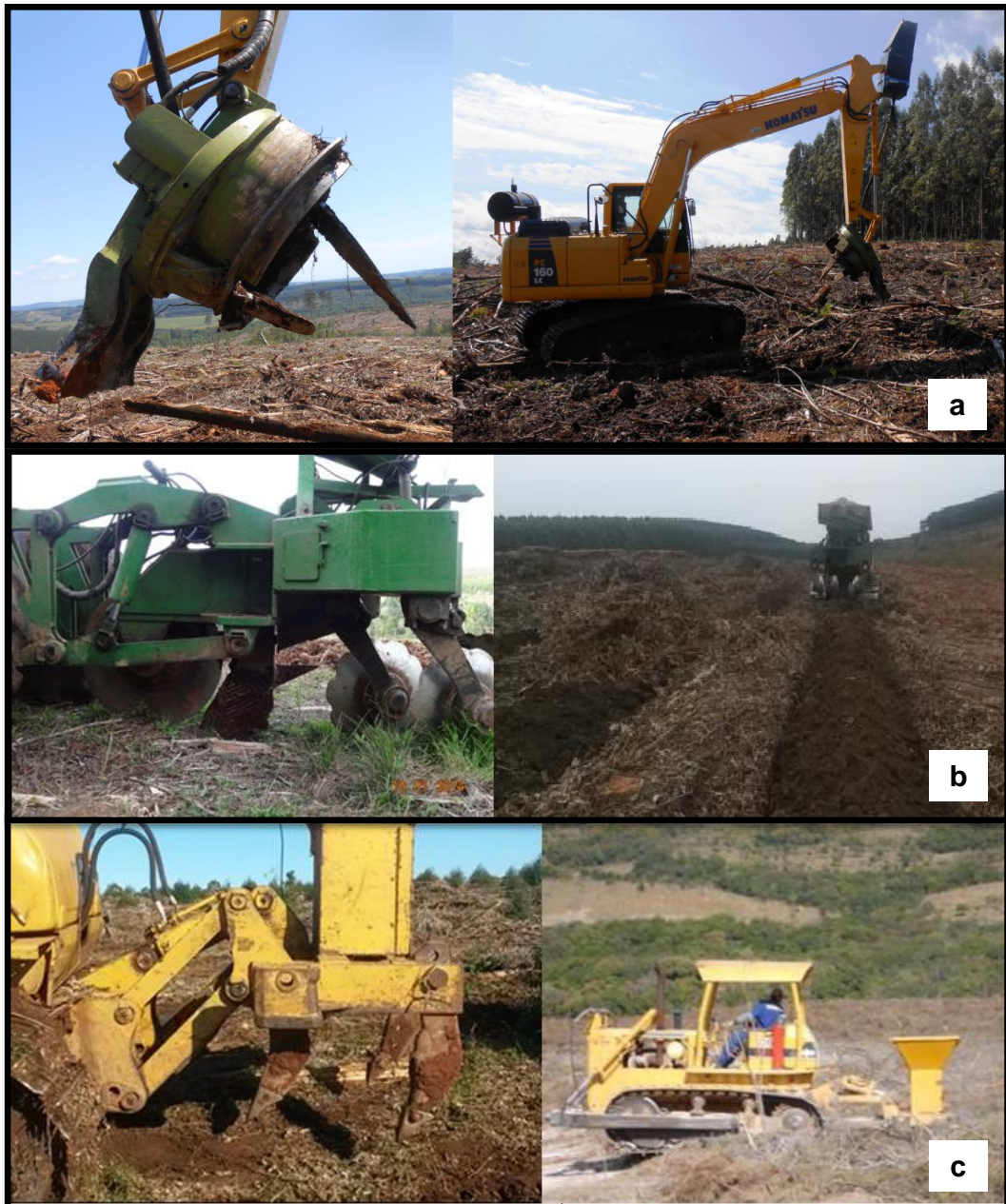
3 - Subsolação com subsolador marca Savannah, mais camalhão (SS): o SS consistiu em subsolação com uso do subsolador modelo Tomahawk 203, marca Savannah, o subsolador possuía uma haste negativa 0,80-1,00 m de comprimento, com profundidade de atuação de 60 cm e discos na parte traseira que romperam e revolveram o solo, formando o camalhão (Figura 4b). Antes da realização do preparo foi feito o rebaixamento dos tocos remanescentes, com um desbastador florestal que foi acoplado a uma escavadeira Cat 320 D (Figura 5). O preparo foi realizado no sentido transversal ao declive.

4 - Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree (CR): o CR foi realizado com um cabeçote coveador marca Rotree, que foi acoplado a uma máquina base Komatsu PC 160 (Figura 4a). O equipamento possui um cabeçote com duas hastas que penetram e desestruturam o solo em movimentos circulares, formando covas com 70 cm de diâmetro por 70 cm de profundidade.

Alguns dos tratamentos necessitaram de rebaixamento de toco, tendo em vista o sentido do preparo, pois o alinhamento do povoamento anterior dificulta ou impede a subsolação. O rebaixamento foi realizado com uma escavadeira Cat 320 D, que foi acoplado um desbastador florestal (Figura 5).

A subsolação em nível (SN) e a subsolação com subsolador marca Savannah (SS) receberam o mesmo espaçamento de plantio de 4,5 x 1,87 m, enquanto para a subsolação convencional (SC) e o coveamento mecânico com Rotree (CR), que não receberam o destocamento, o espaçamento de plantio foi de 3 x 2,5 m (Figura 6).

Figura 4 – Máquinas e implementos utilizados no preparo do solo para a implantação de povoamentos de *E. saligna* em área de reforma, com detalhe o cabeçote coveador marca Rotree acoplado à máquina base Komatsu PC 160 (a), o subsolador marca Savannah, modelo Tomahawk 203 (b) e o subsolador marca DMB com 3 hastes (c).



Fonte: Autor.

Figura 5 – Desbastador florestal acoplado à escavadeira Cat 320 D, utilizado nos tratamentos SN e SS.



Fonte: Autor.

Figura 6 – (a) Subsolação com subsolador marca Savannah, mais camalhão, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco (SS), (b) Subsolação em nível, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco (SN), (c) Subsolação convencional, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido do declive, interrompido 4 a 4 m (SC) e (d) Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree (CR).



Fonte: Autor.

3.2.2 Adubação

As recomendações de adubação foram feitas por meio das análises de solo das áreas na etapa da caracterização e de estimativas da demanda nutricional dos materiais genéticos (BARROS; NOVAIS, 1990), com ajustes pela empresa em função da produtividade. Antes do plantio, foram aplicados 2 Mg ha^{-1} de calcário, a lanço, em toda a área experimental, apesar do eucalipto ser tolerante a acidez e ao alumínio, mas também com o objetivo de adicionar cálcio e magnésio ao solo.

Nas parcelas submetidas à subsolagem convencional (SC), subsolagem em nível (SN) e subsolagem realizada com subsolador marca Savannah mais camalhão (SS) foram aplicados 200 kg ha^{-1} de superfosfato simples, no sulco, e 100 g por planta de NPK (6-30-6), em cova lateral.

No plantio, as mesmas parcelas receberam 200 kg ha^{-1} de NPK (12-00-20) com 0,5% de Boro aos 6 meses, e aos 12 meses 200 kg ha^{-1} de NPK (24-00-24) com 1% de Boro aplicado em cobertura.

Nas parcelas CR, que receberam o coveamento com o equipamento Rotree, foram aplicados 250 g por cova de NPK (11-25-16) no pré-plantio e aos 12 meses, conforme recomendação técnica.

3.2.3 Aplicação de herbicida

O herbicida foi aplicado manualmente cinco dias após o plantio das mudas de eucalipto, somente nas linhas, abrangendo a faixa de 1 metro.

3.2.4 Plantio

O plantio e o replantio das mudas de *E. saligna* Smith foram realizados em 12 e 30 de novembro de 2015, respectivamente. Os preparos SN e SS receberam o mesmo espaçamento de plantio de $4,5 \times 1,87 \text{ m}$ e SC e o CR o espaçamento de plantio foi de $3 \times 2,5 \text{ m}$. Esse espaçamento foi estabelecido para manter a densidade de $1333 \text{ plantas ha}^{-1}$, pois a escolha da densidade depende da finalidade do plantio, assim como a finalidade é a celulose, optou-se pelo valor (Figura 6).

3.3 Análise de custo operacional para a implantação do povoamento

O custo do preparo do solo foi contabilizado pelo valor do aluguel da máquina utilizada para realizar os preparos em reais por hectare, mais o valor da operação em horas por hectare, seja para a subsolagem ou para o coveamento. Juntamente com o preparo do solo foi realizada a operação de adubação; assim, o custo dessa operação está incluso no preparo do solo.

O rebaixamento de toco foi realizado com a finalidade de diminuir a interferência dos tocos remanescente da cultura anterior na qualidade dos preparos SN e SS, já que estes dois preparos foram realizados no sentido transversal ao declive, e passaram pela linha do plantio anterior. O custo dessa operação foi calculado considerando o valor do aluguel da máquina mais o valor da operação.

Na adubação foi contabilizado o valor dos insumos adquiridos, somados à operação para aplicação. Para a aplicação realizada junto com o preparo do solo, o valor encontra-se na operação de preparo. Para as demais aplicações, o custo encontra-se dentro da operação adubação; assim como o valor dos insumos aplicados.

O controle das ervas daninhas foi realizado cinco dias após plantio das mudas por meio da aplicação de herbicida de pré-emergência para todos os preparos realizados, antes da emergência das plantas daninhas. O custo desta operação contemplou o valor do produto mais o valor da aplicação.

3.4 Amostragem e avaliação das propriedades químicas e físico-hídricas do solo após o preparo e plantio de mudas

A primeira amostragem de solo foi realizada após o plantio das mudas de *E. saligna*, em 28 fevereiro de 2016 (quatro meses após o preparo do solo) para avaliar o efeito dos sistemas de preparo sobre as propriedades físicas do solo.

Em cada parcela, foi aberta uma trincheira de aproximadamente 1,5 m de profundidade com o uso de uma retro-escavadeira, marca Komatsu, o que totalizou 12 pontos de amostragem. Em cada ponto de amostragem, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada nas camadas de 0,00–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,30, 0,30–0,60 e 0,60–1,00 m.

As amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas no centro de cada camada, em cilindros metálicos de 5,7 cm de diâmetro e 4,0 cm de altura, com quatro repetições por camada, o que totalizou 240 amostras de solo com estrutura preservada no estudo. Essas amostras foram utilizadas para a determinação da densidade do solo (D_s), da porosidade total (P_t), da macroporosidade (Mac), da microporosidade (Mic), da retenção de água no solo, da água disponível (AD) e da resistência do solo à penetração (RP).

O solo dos anéis com estrutura preservada, ao final das análises citadas anteriormente, foi utilizado para determinação da umidade do solo em tensões maiores que 500 kPa em um psicrômetro e para análise química do solo.

Além das análises laboratoriais, a resistência do solo à penetração também foi realizada em campo.

3.4.1 Propriedades químicas do solo

Uma nova avaliação das propriedades químicas do solo foi realizada em cada parcela, após o preparo do solo. Toda a área experimental recebeu adubação e, dessa forma, a análise química possibilita verificar interferências da adubação (deficiência nutricional) em algum sistema de preparo na avaliação do estabelecimento inicial do *E. saligna*.

As amostras retiradas dos anéis, com estrutura alterada, foram utilizadas para a análise do pH em água (pH_{H_2O}), de fósforo (P), de potássio (K^+), de cálcio (Ca^{2+}), de magnésio (Mg^{2+}) e de alumínio (Al^{3+}), a saturação por alumínio (m) e a saturação por bases (V). As análises foram realizadas no Laboratório de Análise Química e de Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, seguindo metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

As amostras de solo para avaliação de propriedades químicas foram secas ao ar, destorroadas, moídas e passadas em peneira de 2 mm para obtenção da fração de terra fina seca ao ar (TFSA). A acidez ativa do solo, foi determinada pelo pH em água (pH_{H_2O}) feita na relação 1:1, e a leitura realizada em potenciômetro conforme Tedesco et al. (1995). A acidez potencial do solo foi avaliada pela mudança de pH de uma solução tamponada, obtendo-se o índice SMP e sua leitura feita em potenciômetro. O P extraível foi obtido pela solução Mehlich-1, com extrator de

solução ácido, com HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ (solução PA), e a leitura da transmitância realizada em colorímetro com comprimento de onda de 660 nm. O potássio (K⁺) e o sódio (Na⁺) foram extraídos com solução Mehlich-1 e quantificados por fotometria de chama (TEDESCO et al., 1995). Para determinação do cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e alumínio (Al³⁺) foi utilizada uma solução neutra de K (KCl) 1 mol L⁻¹ para extração dos íons cálcio, magnésio e alumínio por mecanismos de troca. O Ca²⁺, Mg²⁺ foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al³⁺ foi determinado por titulação com hidróxido de sódio (NaOH). A partir destas determinações foi calculada a saturação por Al (m), a soma de bases (SB), a saturação por bases (V) e a capacidade de troca de cátions pH 7,0 (CTC_{pH7}).

3.4.2 Propriedades físicas do solo

A quantificação da distribuição do tamanho de partículas de solo foi realizada com uso das amostras com estrutura alterada, que foram secas ao ar livre e peneiradas em peneira com abertura de malha de 2 mm. A fração < 2 mm foi utilizada para a determinação da distribuição granulométrica do solo e quantificação das frações areia grossa (0,20 – 2,00 mm), areia fina (0,05 – 0,20 mm), silte (0,002 – 0,05 mm) e argila (< 0,002 mm), pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), após dispersão do solo conforme metodologia de Suzuki et al. (2015). Para a determinação da distribuição granulométrica, a dispersão das amostras foi realizada por um agitador horizontal com frequência de 120 rpm durante 4 horas, com uso de vidros de 100 mL contendo 20 g de solo, 10 mL de NaOH 6% (dispersante químico), 50 mL de água destilada e duas esferas de nylon com peso de 3,04 g, diâmetro de 1,71 cm e densidade de 1,11 g cm⁻³.

A quantificação do teor de cascalho (2 - 20 mm) presente no solo foi realizada com base na metodologia descrita em EMBRAPA (1997). As amostras foram destorroadas manualmente, secas ao ar e pesadas para quantificação do peso total. Posteriormente, as amostras foram levemente maceradas, para que as frações mais grossas não fossem quebradas. As frações foram passadas em peneira com abertura de malha de 2 mm. Posteriormente, o material retido na peneira foi colocado em recipiente com água e agitado com auxílio de um bastão, várias vezes durante o dia e mantido por uma noite. No dia seguinte, o material foi lavado com

água sob peneira de 2 mm, alocado em latas e mantido em estufa a 105 °C por 24 horas. O teor de cascalho em cada amostra foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{cascalho} = 1000 \times b / a \quad \text{Equação 4}$$

Em que: cascalho é teor de cascalho em g kg⁻¹; b é o peso do cascalho; a é o peso total da amostra.

As amostras de solo com estrutura preservada foram preparadas com a retirada cuidadosa do excesso de solo das faces superior e inferior dos cilindros metálicos. Posteriormente, as amostras foram saturadas por capilaridade por aproximadamente 48 h, pesadas e, em seguida, submetidas às tensões de 6 e 10 kPa em coluna de areia (REINERT; REICHERT, 2006). Posteriormente, as amostras foram submetidas às tensões de 33 e 100 kPa em câmara de Richards (KLUTE, 1986). Ao final, as amostras foram secas em estufa a 105°C por 48 h, até atingirem peso constante, para determinação da densidade do solo (Ds).

Para determinação do conteúdo de água no solo em tensões maiores que 500 kPa para complementação da curva de retenção de água no solo, realizada em psicrômetro normalmente é utilizada apenas a fração < 2 mm. No entanto, para alguns tipos de solo, o método utilizado que contempla apenas a fração < 2 mm, para medição do conteúdo de água no solo em psicrômetro pode não ser adequado. Um estudo prévio foi feito para verificar o comportamento do conteúdo de água medido no psicrômetro em amostras com duas composições distintas, uma apenas com a fração menor que 2 mm e a outra composta pela fração menor que 2 mm e pelo cascalho, comumente presente na amostra de solo. Os resultados demonstraram que o uso de terra fina seca ao ar (TFSA) em solos com cascalho superestima o conteúdo de água retido no solo em altas tensões. O correto é utilizar amostras com cascalho para determinação da retenção de água no WP4 para obtenção de um segmento final coerente da CRA de solo com cascalho.

Com base no resultado desse estudo prévio, optou-se pela utilização de amostra de solo composta por cascalho e pela fração < 2 mm, de modo distinto ao comumente realizado para medições no psicrômetro. A composição granulométrica do solo foi mantida, pois a alteração por meio da remoção da fração cascalho superestima o conteúdo de água no solo em altas tensões, quando utilizado um

psicrômetro para a análise (PIGATTO et al., 2016). A umidade gravimétrica para as tensões superiores a 500 kPa foi analisada com psicrômetro de ponto de orvalho - WP4, utilizando-se amostras com estrutura não preservada (KLEIN et al., 2013). A umidade gravimétrica determinada foi multiplicada pela densidade do solo correspondente à camada amostrada, para obtenção da umidade volumétrica. Por meio de equações de regressão obtidas pela relação entre a umidade volumétrica e a tensão de água no solo foi feita a estimativa da retenção de água.

A partir dos valores de umidade e tensão, nas tensões de 6, 10, 33, 100, 500, 1000 e 1500 kPa, obtidos em coluna de areia, câmaras de pressão e psicrômetro, foram ajustadas curvas de retenção de água no solo pelo modelo de Van Genuchten (1980) (Equação 5), utilizando o Solver do Excel, conforme a equação:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha\psi)^n]^m} \quad \text{Equação 5}$$

Em que: θ é o conteúdo de água estimado ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), θ_r é o conteúdo de água residual ($\text{cm}^3 \text{ m}^{-3}$), θ_s é o conteúdo de água de saturação ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), ψ é a tensão com que a água é retida no solo (kPa); α , n e m são coeficientes de ajuste da equação, sendo $m=1-1/n$.

A porosidade total foi determinada com base na água retida na saturação, a microporosidade foi determinada com base na água retida na tensão de 6 kPa, enquanto a quantidade de macroporos foi determinada pela diferença entre o volume de água retido na saturação e o volume de água retido na microporosidade.

A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) foram calculados como o volume de água retido na tensão de 10 kPa e de 1500 kPa, respectivamente. A água disponível (AD) foi determinada pela diferença entre o volume de água retido na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente.

3.4.2.1 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi realizada em laboratório, em amostras com estrutura preservada, e em campo.

Em laboratório, as amostras de solo com estrutura preservada foram saturadas por capilaridade e submetidas à tensão de 10 kPa, em coluna de areia (REINERT; REICHERT, 2006). Após o equilíbrio da umidade nessa tensão, as amostras foram submetidas ao teste de resistência à penetração, com uso de um penetrômetro eletrônico de bancada, da marca MARCONI, modelo MA 933 (Figura 7). O penetrômetro possui uma haste metálica que é inserida na amostra de solo a uma velocidade constante de penetração de 1 cm min^{-1} e um cone com diâmetro de base de 4 mm e ângulo de 30° . O equipamento é composto por uma célula de carga com capacidade de 20 kg. As medidas de resistência à penetração foram obtidas e armazenadas em arquivo do sistema, sendo calculada a média das resistências obtidas durante o teste.

Figura 7 – Resistência do solo à penetração, realizada em penetrômetro de bancada.



Fonte: Autor.

No campo, a resistência do solo à penetração foi avaliada nas parcelas dos diferentes sistemas de preparo do solo, com uso de um penetrômetro digital

(Eijkelkamp Penetroviewer 6 Data), com armazenamento eletrônico de dados. O penetrômetro possui ponta cônica com ângulo de penetração 30° e área basal 2 cm², inserida no solo atingindo uma profundidade de até 0,80 m. As avaliações foram realizadas em quatro transectos por parcela, perpendicular à linha central de preparo do solo. Cada transecto possuía largura de 1,2 m (60 cm à esquerda e 60 cm à direita da linha central de preparo), sendo as avaliações realizadas em pontos distanciados a cada 20 cm, o que totalizou sete pontos de avaliação da RP por transecto. Simultaneamente, foram coletadas amostras deformadas para determinação da umidade gravimétrica do solo, em dois pontos por transecto e a cada 10 cm de profundidade até a profundidade de 80 cm.

3.4.2.2 Solo mobilizado pelos sistemas de preparo

A mobilização do solo realizada pelos distintos sistemas de preparo foi determinada por meio da quantificação da área e do volume de solo mobilizado, logo após a realização das operações de subsolagem e coveamento mecânico. O volume de solo mobilizado por hectare foi determinado para os preparos com as subsolagens SC, SN e SS com base nos espaçamentos entre linhas de plantio (Equação 6).

$$VSM = ASM \times \frac{10000}{L} \quad \text{Equação 6}$$

Em que: *VSM* é o volume de solo mobilizado (m³ ha⁻¹); *ASM* é a área de solo mobilizada (m² ha⁻¹); *L* é o espaçamento entre linhas de plantio (m).

No preparo com coveamento (CR), o *VSM* foi calculado com base na Equação 7:

$$VSM = \pi R^2 \times G \times \frac{10000}{L \times E} \quad \text{Equação 7}$$

Em que: VSM é volume de solo mobilizado ($m^3 ha^{-1}$); π é Pi (3,14); R^2 é o raio da cova; G é a profundidade da cova; L é o espaçamento entre linhas de plantio; e E é o espaçamento entre plantas.

3.4.2.3 Crescimento inicial do *E. saligna*

O efeito dos sistemas de preparo sobre o crescimento inicial do *E. saligna* foi avaliado por meio da quantificação da taxa de sobrevivência (S), da altura de plantas, do diâmetro à altura do peito (Dap ; tomado à 1,30 m de altura). As avaliações foram realizadas aos 90, 180 e 330 dias após o plantio (exceto para o Dap , que foi avaliado aos 180 e aos 330 dias). As avaliações dendrométricas foram realizadas em 25 plantas por parcela.

A taxa de sobrevivência (S) foi calculada por meio da Equação 8.

$$S = \frac{ni}{ne} \times 100 \quad \text{Equação 8}$$

Em que: S é a taxa de sobrevivência (%); ni é o número de árvores medidas; ne é o número de árvores esperadas.

3.5 Análise estatística

Os dados avaliados foram submetidos a teste de normalidade de Shapiro-Wilk e de homogeneidade das variâncias. Posteriormente, foi realizada a análise de variância dos dados de Ds , Pt , Mac , Mic , retenção de água no solo, AD , RP , VSM , teor de argila, pH_{H_2O} , P , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , m e V , e para as variáveis de plantas, S , Dap , altura, com o programa estatístico Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2011). Quando a análise de variância indicou diferença significativa, foi realizado o teste t (LSD) para comparação de médias entre os sistemas de preparo, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Custos operacionais dos sistemas de preparo do solo

O maior custo de operação de preparo do solo foi obtido pelo coveamento CR, seguido dos preparos com subsolagem, SC, SS e SN. O sistema de preparo com coveador Rotree, apesar de vantagens de conciliar as operações de adubação e herbicida, resultou em um custo mais alto que os demais sistemas na operação de preparo do solo; no entanto, no custo total demonstrou-se menos oneroso que as subsolagens realizadas (SS e SN).

A operação de rebaixamento de toco representou custo apenas para os preparos SN e SS. Para os demais preparos do solo não este houve custo, o que representa um aspecto positivo para o sistema de coveamento CR e para subsolagem SC, pois há diminuição no custo total para a implantação do povoamento (Tabela 6).

O custo da adubação no coveamento CR foi menor em relação aos preparos com subsolagem, SC, SN e SS, em virtude de não ter recebido adubação aos seis meses. Para aplicação de herbicida de pré-emergência, todos os preparos apresentaram o mesmo valor, já que representa apenas o preço do produto.

Considerando o custo total das operações, o preparo SS resultou em um custo mais elevado, seguido do SN e CR, enquanto que o SC proporcionou o menor custo. A operação de rebaixamento de toco tornou os custos dos preparos SS e SN mais elevados.

Tabela 6 – Custo das operações silviculturais realizadas na área de reforma para a implantação de povoamentos de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS.

Sistema de preparo*	Preparo do solo	Rebaixamento de toco	Adubação	Pré-emergente	Custo total
			R\$ ha ⁻¹		
SC	1489,66	não tem	1252,65	305,59	3047,90
CR	3263,78	não tem	899,08	305,59	4468,45
SN	1291,00	1847,00	1252,65	305,59	4696,24
SS	1336,88	1847,00	1252,65	305,59	4742,11

*SC: Subsolação convencional, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido do declive, interrompido 4 a 4 m; CR: Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree; SN: Subsolação em nível, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco e SS: Subsolação com subsolador marca Savannah, mais camalhão, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco.

4.2 Propriedades químicas do solo

Após a aplicação de calcário na área, o pH do solo continuou com valores classificados como muito baixo (< 5,0) (BISSANI et al., 2008), mesmo na superfície, onde o calcário foi aplicado. O pH_{H₂O} variou de 3,7 a 4,2 em todas as camadas de todos os sistemas de preparo, qualificando o solo como extremamente ácidos (< 4,3), segundo EMBRAPA (2006). O pH_{H₂O} diferiu significativamente entre sistemas de preparo nas camadas 0,00–0,10, 0,10–0,20, 0,30–0,60 e 0,60–1,00 m, em que a subsolação convencional teve os valores de pH_{H₂O} significativamente menores (Tabela 7). No entanto, todos os sistemas de preparo do solo estão com o pH abaixo da faixa considerada adequada, por isso pode ser considerado que essa propriedade não interferiu na avaliação das plantas diante dos sistemas de preparo do solo para o estabelecimento do eucalipto.

Aliado a isso, o problema causado pelos valores inadequados de pH é a presença de Al⁺³. Os solos do sul do Brasil possuem caráter ácido, característica

proporcionada pela gênese desses solos, devido à ação de fatores e processos que atuam com o avanço do intemperismo. Com isso, o maior problema para produtividade de culturas nesses solos é o Al na forma trocável, que está em equilíbrio com o Al^{3+} da solução do solo (KAMINSKI et al., 2007). Todavia, a maioria das espécies de *Eucalyptus* cultivadas no Brasil tem se revelado tolerantes ao alumínio (SILVEIRA et al., 2001).

Antes dessa análise química, os preparos com subsolagem receberam 100 g de NPK (6-30-6) e o preparo com coveamento 250 g por cova de NPK (11-25-16). Essa adubação realizada na área influenciou positivamente os teores de P e K no solo, pois a análise química após o preparo do solo resultou em valores adequados desses nutrientes. Os teores de P não diferiram significativamente entre sistemas de preparo na camada superficial (0,00-0,10 m) e variam de médio ($8,1\text{-}12,0 \text{ mg dm}^{-3}$) a alto ($12,1\text{-}24,0 \text{ mg dm}^{-3}$), o que significa adequada disponibilidade de fósforo para as plantas nessa camada (Tabela 7).

O revolvimento do solo, por meio dos implementos utilizados, subsoladores ou coveador, auxiliou na incorporação dos fertilizantes adicionados em camadas subsuperficiais, propiciando valores na faixa de suficiência, principalmente de P já que sua migração no solo é muito lenta (KAMINSKI et al., 2007). Quando o solo é corrigido por meio da aplicação de calcário, o valor de pH se eleva afetando a disponibilidade de alguns nutrientes, como do P (BISSANI et al., 2006). A maior concentração de OH^- pode deslocar o P adsorvido na superfície dos minerais para a solução do solo e, assim, diminui a energia de ligação do fosfato com as partículas, aumentando o P disponível as plantas (BISSANI et al., 2006). Contudo, mesmo após a aplicação de calcário na área o solo continuou com baixos valores de pH, que podem ser favoráveis a maior adsorção de P no solo; por isso é necessário enfatizar a importância da adição de fosfato ao solo, já que é essencial para suprir a necessidade da cultura florestal.

Na camada de 0,10–0,20 m, o P ($48,80 \text{ mg dm}^{-3}$) foi significativamente maior no SS, considerado muito alto ($> 24,0 \text{ mg dm}^{-3}$). Na camada de 0,20–0,30 m, o teor de P não diferiu entre sistemas de preparo e os valores variaram de médio ($6,1\text{-}9,0 \text{ mg dm}^{-3}$) a alto ($9,1\text{-}18,0 \text{ mg dm}^{-3}$), dentro da faixa de suficiência (BISSANI et al., 2008). A partir dos 0,30 m de profundidade, os teores de P não diferiram entre sistemas de preparo e

tiveram tendência de redução com o aumento da profundidade. A disponibilidade de fósforo em quantidades adequadas no solo é fundamental, dadas as suas funções na planta, pois o P faz parte de compostos orgânicos e atua na divisão celular, na reprodução e no metabolismo vegetal (BISSANI et al., 2008).

A classificação do teor de K é feita com base na CTC do solo, para as camadas e os preparos avaliados a CTC variou de 5,1-15,0 e > 15,0. O K no solo foi alto na maioria das camadas dos diferentes sistemas de preparo, exceto na camada de 0,60-1,00 m, onde os valores variaram entre médio para o SN (41-60 mg dm⁻³) e o SC (61-90 mg dm⁻³) a alto (61-120 mg dm⁻³) para SS e CR (Tabela 7). Isso pode ser atribuído à correção da fertilidade realizada em todos os sistemas de preparo. O potássio exerce funções reguladoras para o desenvolvimento da planta, como ativação de enzimas, necessário para a síntese de proteínas, participa da síntese de ATP (adenosina trifosfato), processo ligado à produção de energia; portanto, é importante que seus valores após o preparo estejam adequados (BISSANI et al., 2008).

A aplicação de calcário no solo não refletiu em maiores teores de Ca e Mg. Os teores de Ca foram baixos em todas as camadas de todos os sistemas de preparo (< 2,0 cmol_c dm⁻³) (Tabela 6) (BISSANI et al., 2008). Na camada de 0,60 a 1,00 m, o preparo SS diferiu dos demais com maior teor de Ca (1,3 cmol_c dm⁻³). Os teores de Mg foram baixos em todos os sistemas de preparo e camadas (< 0,5 cmol_c dm⁻³) e diferiram entre os sistemas de preparo, nas camadas de 0,30-0,60 m e 0,60-1,00 m, em que o Mg foi significativamente maior no CR, sendo considerado médio (0,6-1,0 cmol_c dm⁻³) na camada de 0,30–0,60 m, e alto (> 1,0 cmol_c dm⁻³) na camada de 0,60-1,00 m (BISSANI et al., 2008).

A maioria dos Argissolos do Brasil possui baixa fertilidade natural (BRIGHENTI et al., 2012). Conforme descrito no estudo de Brighenti et al. (2012), que procurou caracterizar alguns Argissolos do sul do Brasil, o Argissolo derivado de granito possuía uma quantidade expressiva de cascalho no horizonte B, um teor de bases muito baixo, com teores de Ca e Mg inferior ao considerado suficiente, altos teores de alumínio trocável e a saturação por Al superior a 50%. O baixo teor de Ca e Mg e alto teor de alumínio no solo deste estudo pode estar relacionado com o material de origem do Argissolo, que é derivado de granito, pois dependendo do clima, do material de origem

e da posição no relevo, variações significativas na fertilidade química do solo podem ser percebidas (MONIZ, 1975).

O solo da área estudo possui baixa saturação por bases ($< 45\%$), conforme sua própria classificação mostra que o solo possui caráter alítico/alumínico, com alta saturação por alumínio (Tabela 7). Essa condição proporciona alta saturação por alumínio, como verificado em todos os sistemas de preparo e nas distintas camadas. Essa propriedade diferiu apenas na camada 0,10–0,20 m, onde o sistema de preparo SS teve valor mais alto do que os demais preparos e na camada 0,60–1,00 m não diferindo do coveamento, CR.

A menor saturação por alumínio foi observada na camada 0,10–0,20 m para os preparos SS e SN e na camada 0,60–1,00 m no SS e no CR (Tabela 7). Nas demais camadas não foram observadas diferenças significativas. No entanto, as espécies de eucalipto têm demonstrado certa tolerância ao alumínio, o que pode não influenciar negativamente seu crescimento (SILVEIRA et al., 2001).

Tabela 7 – Propriedades químicas do solo avaliadas pós o preparo em distintas camadas para os sistemas: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico, marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN, Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS na área de reforma.

Preparos*	Argila %	pH _{H2O}	P	K	Ca	Mg	Al	m	V
			mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³		%		
Camada 0,00–0,10 m									
CR	36a	3,7b	19,0a	134,7a	1,1a	0,5a	4,8a	71a	9a
SC	34a	3,7b	9,5a	140,0a	0,8a	0,3a	4,3ab	76a	7a
SN	30a	3,8ab	15,8a	118,7a	0,7a	0,3a	3,7ab	72a	7a
SS	27a	4,0a	14,9a	109,3a	1,0a	0,2a	3,0b	62a	14a
Camada 0,10–0,20 m									
CR	40a	3,7b	9,0b	105,3a	0,7a	0,3a	5,7a	81a	6b
SC	41a	3,7b	6,5b	125,3a	0,7a	0,3a	5,3a	80a	5b
SN	40a	3,8b	13,6b	148,0a	0,8a	0,3a	5,0a	76ab	7ab
SS	30a	4,0a	48,8a	100,0a	1,2a	0,3a	2,9b	58b	17a
Camada 0,20–0,30 m									
CR	53a	3,8a	6,5a	105,3b	0,5a	0,3a	5,3b	84a	4a
SC	49ab	3,7a	6,7a	133,3ab	0,6a	0,2a	5,8ab	84a	4a
SN	49ab	3,8a	10,1a	161,3a	0,6a	0,2a	7,4a	84a	5a
SS	39b	3,9a	10,0a	104,0b	0,9a	0,3a	4,6b	73a	8a
Camada 0,30–0,60 m									
CR	41b	4,1a	5,1a	104,0a	0,4a	0,7a	3,1b	69a	9a
SC	61a	3,7b	4,7a	118,7a	0,5a	0,3b	6,2a	86a	4a
SN	52ab	3,9ab	4,9a	97,3a	0,4a	0,2b	5,2a	85a	4a
SS	55a	3,9ab	6,9a	141,3a	0,7a	0,4ab	6,3a	80a	6a
Camada 0,60–1,00 m									
CR	43a	4,2a	4,8a	85,3ab	0,5b	1,3a	2,7a	57ab	20ab
SC	45a	4,0b	5,0a	85,3ab	0,7b	0,4c	3,9a	75a	7c
SN	37a	4,1ab	4,2a	54,7b	0,7b	0,4c	3,4a	74a	10bc
SS	41a	4,2a	5,1a	117,3a	1,3a	0,9b	2,8a	55b	23 a

*CR: Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree; SC: Subsolação convencional, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido do declive, interrompido 4 a 4 m; SN: Subsolação em nível, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco e SS: Subsolação com subsolador marca Savannah, mais camalhão, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco. Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade de erro.

4.3 Propriedades físicas do solo

A densidade do solo não diferiu estatisticamente entre sistemas de preparo, em todas as camadas (Figura 8). A mobilização do solo proporcionou redução na densidade até 0,30 m de profundidade na maioria dos sistemas de preparo, exceto para o SN que não teve redução na D_s . Mesmo sem diferenças estatísticas, o SC mostrou-se eficiente em proporcionar a menor densidade, principalmente na camada superficial (0,00–0,10 m) que foi de $1,37 \text{ Mg m}^{-3}$. Os menores valores de densidade do solo, subsequentes ao SC, foram observados no SS e no CR, e a maior D_s foi observada no SN. Morales (2014) avaliou o efeito de diferentes sistemas de preparo sobre as propriedades físicas do solo e observou que a subsolagem com construção de camalhão proporcionou a menor densidade do solo na camada de 0,00–0,10 m, similar ao observado no presente estudo.

Além do maior efeito do preparo, os menores valores de D_s na camada superficial (0,00–0,10 m) podem ser atribuídos à ação dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo e, possivelmente, ao maior teor de matéria orgânica, na camada 0,00–0,10 e 0,10–0,20 m. A densidade do solo é, geralmente, menor em solos com maior teor de matéria orgânica (KLEIN, 2014). Cavichiolo et al. (2005) avaliaram modificações nas propriedades físicas do solo submetido a dois sistemas de preparo em área de rebrota de *E. saligna* e também observaram menores densidades do solo na camada de 0,00–0,10 m, o que foi atribuído ao efeito dos resíduos de colheita do povoamento anterior, que atenuaram o impacto causado pelo tráfego das máquinas e, por consequência, proporcionaram menor compactação em superfície.

Na camada de 0,10–0,20 m, a menor D_s foi observada no SS e aumentou sucessivamente no SC, no CR e no SN. A D_s nas camadas superficiais (0,00–0,10 e 0,10–0,20 m) não atingiram valores críticos, considerando a D_{sc} IHO e a D_{sc} Rest (REICHERT et al., 2009a). No entanto, é importante salientar que esses valores de densidade são críticos para culturas anuais, pois existe carência de informações para indicar valores de densidade restritiva ao desenvolvimento radicular de espécies florestais. Na busca de definir limites críticos para área de floresta, Suzuki et al. (2012)

concluíram que valores restritivos baseados em restrições ao crescimento e rendimento de culturas anuais ou no intervalo hídrico ótimo são efetivos para o eucalipto.

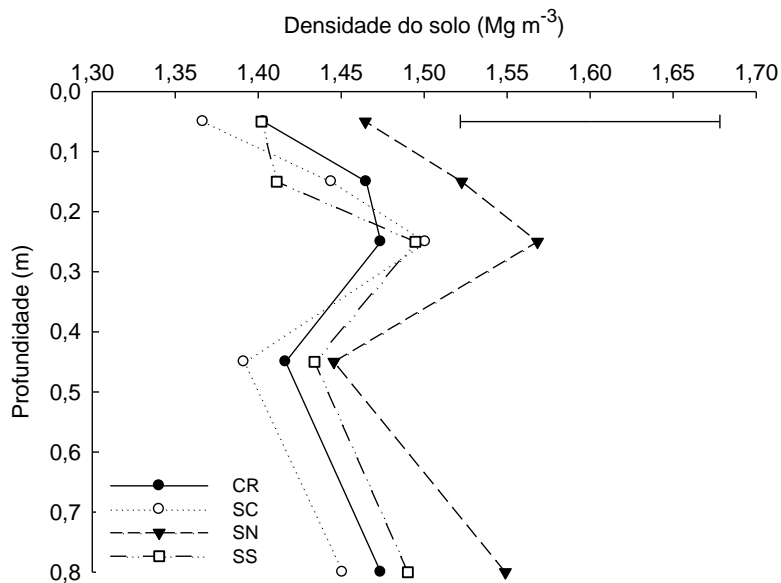
A camada com maior densidade do solo foi de 0,20–0,30 m, em todos os sistemas de preparo. Os altos valores de densidade e próximos ao valor crítico de 1,51 Mg m^{-3} (D_{sc} IHO) e 1,56 Mg m^{-3} (D_{sc} Rest) podem ser atribuídos ao efeito do tráfego de máquinas no solo durante a operação de colheita do cultivo antecedente, associado ao maior adensamento natural nessa camada. A compactação em área com plantios de eucalipto para fins comerciais é afetada negativamente até a camada de 0,40 m (SUZUKI et al., 2012). Aliado a isso, a maior densidade na camada 0,20–0,30 m pode representar um adensamento do solo, ou seja, a redução de sua porosidade e um aumento na densidade, processo que acontece naturalmente no solo, onde pode ocorrer rearranjo das partículas, e as causas podem contemplar vários fatores, entre eles sua composição textural e a ação do clima, como devido a ciclos de umedecimento e secagem (REICHERT et al., 2007).

O tráfego de máquinas comumente utilizadas na silvicultura na operação de colheita da madeira, como o Harvester e Forwarder, provoca alterações nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo que acarretam em compactação (RIGGERT et al., 2016). Quando observados os resultados de densidade do solo e compara-se com o valor de D_{sc} IHO, de 1,51 Mg m^{-3} pode se inferir que o tratamento SN, com valor de 1,57 Mg m^{-3} não foi eficiente na mobilização do solo, para diminuir os valores de densidade do solo, o que poderia restringir o desenvolvimento do eucalipto. Nessa mesma camada, o coveamento mecânico (CR) proporcionou uma D_s de 1,47 Mg m^{-3} , inferior ao considerado restritivo às plantas.

O SN, mesmo sem diferenças significativas na D_s em relação aos demais sistemas de preparos, apresentou as maiores D_s . Este preparo é realizado no sentido transversal, de modo que o subsolador passa pela linha do plantio anterior e as hastes que rompem o solo podem encontrar tocos remanescentes, os quais foram desbastados na superfície. No entanto, abaixo do solo pode ser um empecilho, principalmente devido a suas raízes, dificultando a passagem das hastes subsoladoras e a eficiência deste preparo.

Nas camadas de 0,30–0,60 e 0,60–1,00 m, em todos os sistemas de preparo a densidade foi maior que D_{sc} IHO, 1,36 e 1,37 Mg m^{-3} . Possivelmente, nessas camadas mais profundas do solo, o teor de cascalho influenciou nos valores de densidade, já que contribui para o aumento desses valores, o que pode ser observado na caracterização do perfil, que a partir de 0,30 m possui textura classificada como muito cascalhenta (Anexo A).

Figura 8 – Densidade do solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.



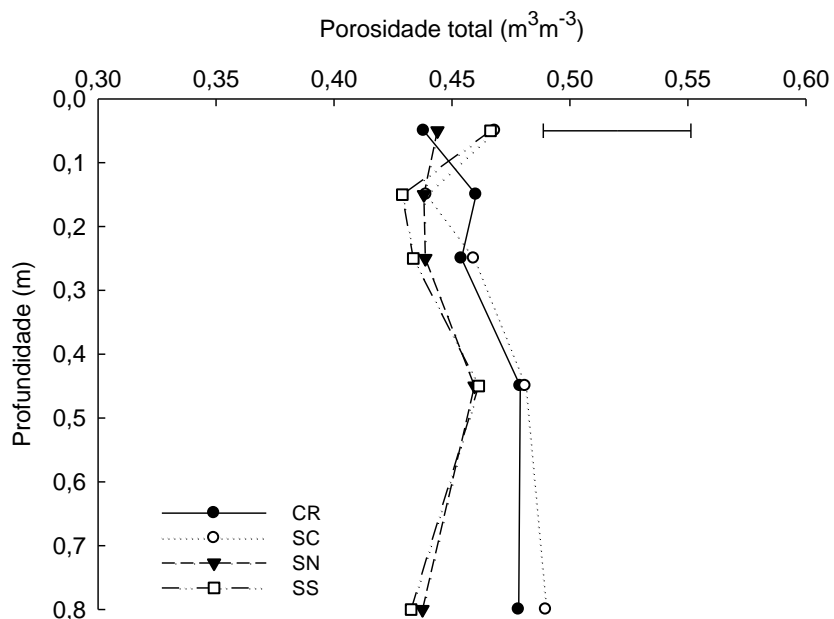
A porosidade total não diferiu significativamente entre os sistemas de preparo desde a superfície até os 0,60 m de profundidade (Figura 9). Diferenças significativas foram observadas apenas na camada de 0,60–1,00 m, em que a Pt foi significativamente maior no SC e no CR, em comparação aos demais preparos.

O SS e o SC proporcionaram Pt de $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, na camada de 0,00–0,10 m, enquanto o SN e o CR tiveram Pt de $0,43$ e $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente. Possivelmente, esses sistemas promoveram um revolvimento mais intensivo do solo na camada superficial, auxiliando no aumento da Pt.

A subsolagem convencional (SC) teve a maior porosidade total do solo, desde a superfície até 1,00 m de profundidade. Além do SC, a técnica de coveamento (CR) proporcionou alta Pt nas camadas de 0,10–0,20, 0,20–0,30, 0,30–0,60 e 0,60–1,00 m, mas baixos valores de na camada superficial (0,00–0,10 m).

Nas camadas mais profundas (0,30–0,60 e 0,60–1,00 m) a Pt é maior em comparação as demais camadas, possivelmente devido à maior microporosidade do solo dessas camadas.

Figura 9 – Porosidade total do solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade.



Na camada superficial do solo (0,00–0,10 m), os sistemas de preparo, independente da técnica utilizada (subsolagem ou coveamento), proporcionaram altos valores de macroporosidade (Figura 10), superiores aos $0,10 m^3 m^{-3}$ considerados restritivos ao crescimento de plantas (TAVARES FILHO, 2013). Esse resultado pode ser atribuído à maior mobilização nesta camada e rompimento de agregados do solo pelos implementos utilizados no preparo, além do maior teor de matéria orgânica do solo, que

influencia na redução da densidade do solo e, por consequência, no aumento na macroporosidade do solo. Morales (2014) também observou que o preparo do solo para o plantio *E. saligna* proporcionou maior macroporosidade na camada superficial do solo. Quanto ao uso do solo, a macroporosidade é mais afetada que a microporosidade, pois está sujeita a mudanças impostas pelo manejo do solo em áreas agrícolas ou florestais (SUZUKI et al., 2012).

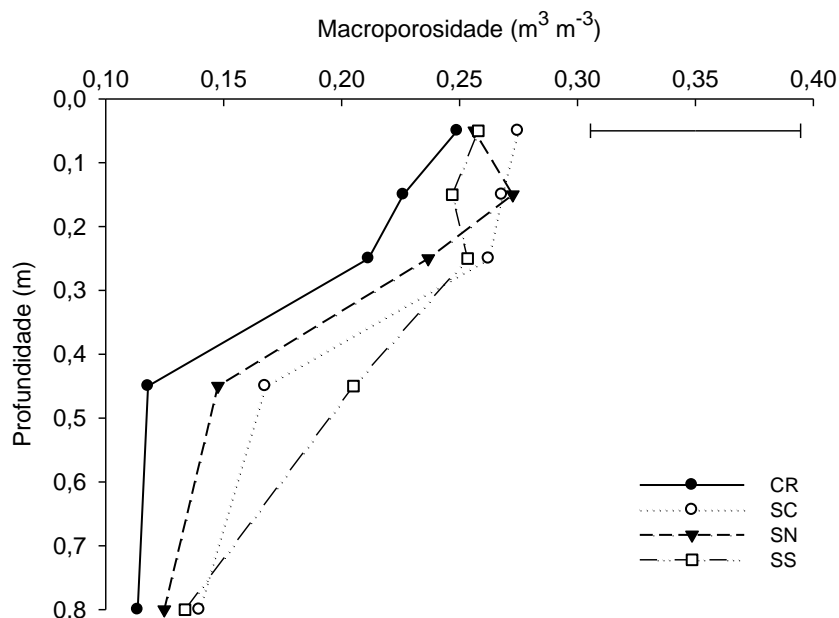
A macroporosidade do solo diferiu significativamente entre sistemas de preparo na camada de 0,30–0,60 m, em que os valores obtidos foram 0,20, 0,17, 0,15 e 0,12 m³ m⁻³ para os preparos SS, SC, SN e CR, respectivamente. Nas demais camadas do solo não foram observadas diferenças estatísticas na macroporosidade entre os sistemas de preparo.

A técnica de coveamento (CR) proporcionou as menores macroporosidades do solo quando comparada aos demais sistemas de preparo. Na camada de 0,60–1,00 m, os valores de macroporosidade estiveram próximos a 10 m³ m⁻³, o que pode ser atribuído ao efeito da textura, em virtude do alto teor de argila. Além disso, o efeito de mobilização do solo para o SC e o SN é de 0,50 m, enquanto no SS e o CR tem efeito em maior profundidade, promovendo maiores valores de macroporosidade, o que não foi observado para a técnica do coveamento (CR).

A porosidade preenchida com ar, amplamente utilizada com um indicador da aeração do solo, pode ser alterada pela compactação do solo e restringir o desenvolvimento de plantas. Valores limites para este indicador são descritos na literatura, como um valor de 0,25 m³ m⁻³, considerado ideal para manter uma boa aeração, entre 0,10 e 0,25 m³ m⁻³ a difusão de oxigênio pode ser limitada, e abaixo de 0,10 m³ m⁻³ identifica-se deficiência na aeração (STEPNIEWSKI et al., 1994).

O preparo com subsolador Savannah (SS) teve melhor desempenho para proporcionar as maiores macroporosidades em maior profundidade (Figura 10), o que pode ser atribuído à subsolagem mais intensa realizada com esse sistema de preparo e atuação em maior profundidade.

Figura 10 – Macroporosidade do solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade.



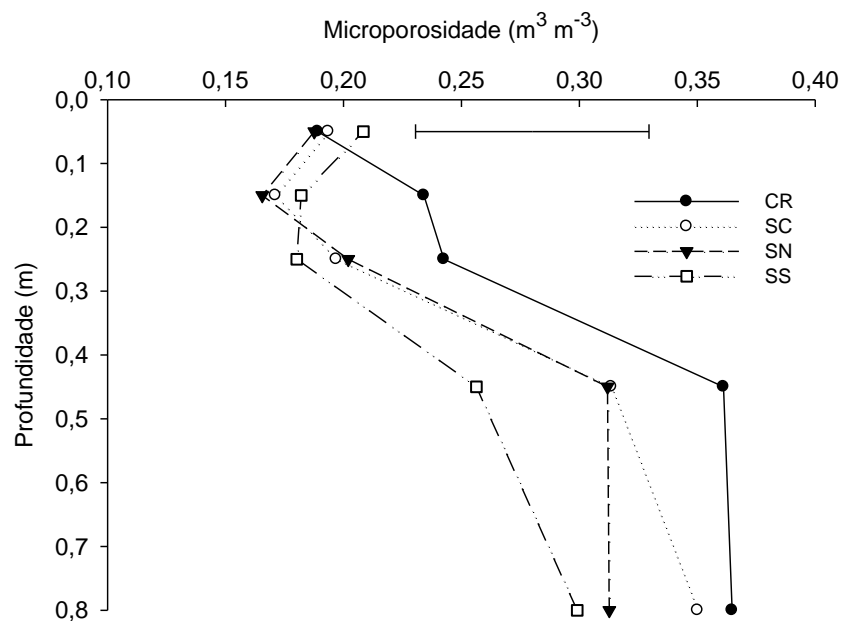
A microporosidade do solo aumentou com aumento da profundidade, principalmente, nas camadas de 0,30–0,60 e 0,60–1,00 m. Entre os sistemas de preparo a microporosidade foi significativamente maior no CR, no SC e SN, com valores de 0,36, 0,31 e 0,31 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente, e menor no SS (0,26 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), mas não diferindo do SC e do SN, na camada de 0,30–0,60 m.

O SS teve valores altos de macroporosidade do solo na mesma camada em que microporosidade foi menor, diferindo do CR (Figura 11), o que indica que o SS tenha proporcionado efeito em maior profundidade e contribuindo para o aumento da macroporosidade.

Os microporos podem ser resultantes de dois fatores: da textura fina do solo, onde o predomínio de partículas finas confere ao solo poros pequenos ou da aplicação de cargas, cujo solo é submetido ocasionando a compactação, e diminuição dos macroporos. No caso de solos com teores de argila superiores a 35%, predomina uma alta capacidade de retenção de água e baixa permeabilidade; por isso, a maior

microporosidade nessas camadas pode ser favorável para maior armazenamento de água no solo para as plantas. Possivelmente, em função da textura argilosa das camadas mais profundas do Argissolo, os valores de microporosidade são mais altos.

Figura 11 – Microporosidade do solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.



A condição estrutural, representada pela densidade e porosidade do solo (Figura 8 e 9), influenciou a capacidade de armazenamento de água no solo (Figura 12). Na camada superficial (0,00–0,10 m), o conteúdo de água na saturação foi maior no SS e no SC e menor no CR e no SN, respectivamente. A partir da tensão de 100 kPa, a retenção de água foi similar entre os sistemas de preparo. Em altos conteúdos de água, onde atuam fenômenos de capilaridade para retenção de água no solo, a porosidade e a densidade são fatores mais relevantes para o processo de retenção (DEMATTE, 1988).

A maior porosidade total foi observada nos preparos SC e SS, embora não tenham diferido dos demais sistemas de preparo (Figura 9). Este fato pode ter

contribuído para maiores valores de saturação na camada superficial do solo para estes sistemas de preparo. Em menores conteúdos de água a retenção é favorecida pela textura mais fina e maior área superficial específica do solo, o que pode explicar a similaridade na retenção de água entre os sistemas de preparo.

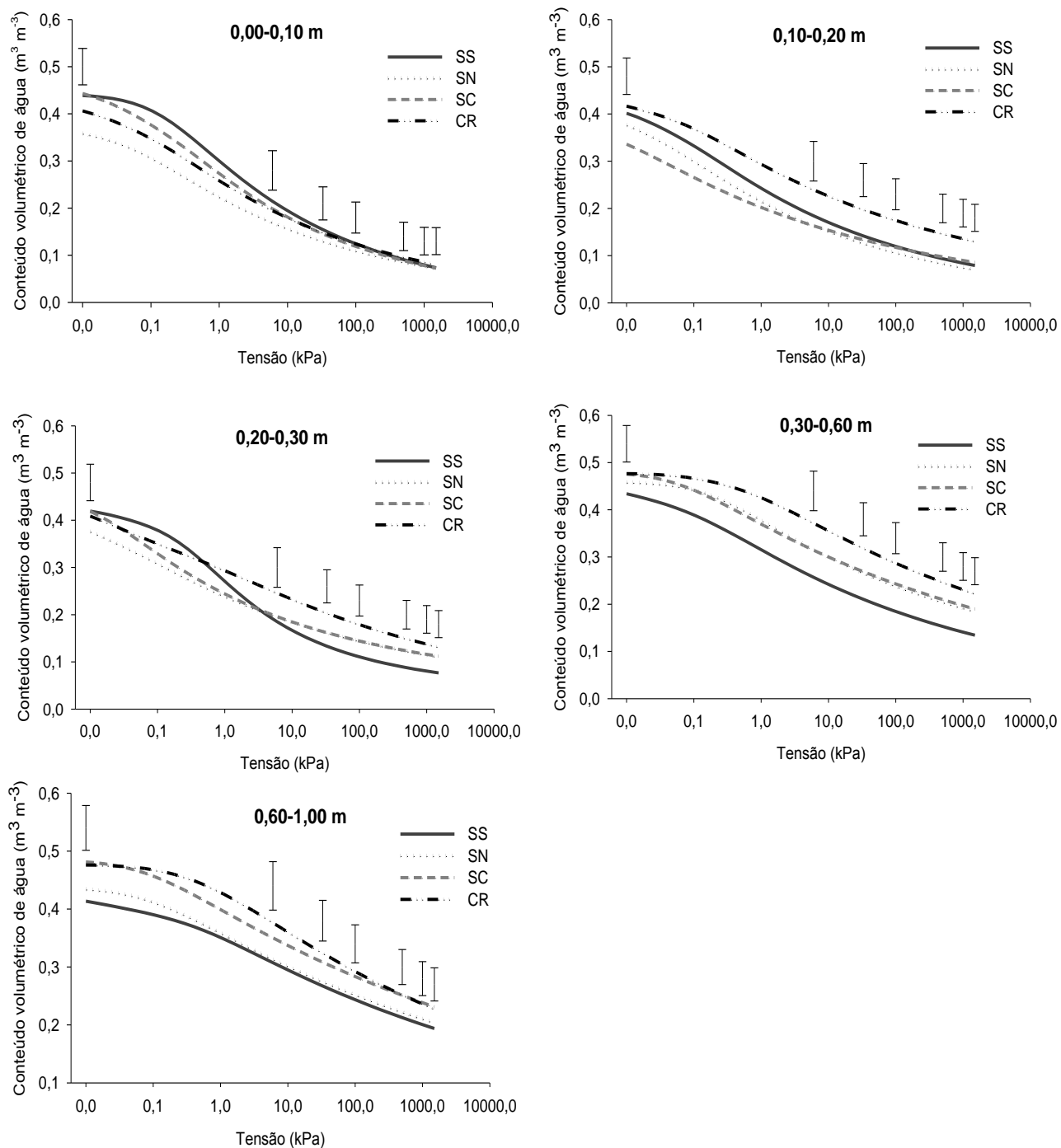
A retenção de água na camada de 0,10–0,20 m foi maior no CR em todas as tensões. Na camada de 0,20–0,30 m, a elevada quantidade de cascalho (Tabela 1) pode ter proporcionado maior conteúdo de água retido na saturação. No entanto, em condições de saturação, a água dos poros maiores pode drenar rapidamente, ficando por pouco tempo no solo e deixando de atender a demanda das plantas.

O SS teve maior conteúdo de água na saturação, em comparação aos demais sistemas de preparo, na camada de 0,20–0,30 m. Entretanto, em maiores tensões, o SS teve menor conteúdo de água armazenado, possivelmente pela influência do seu menor teor de argila (Tabela 7). A partir de 10 kPa, o CR teve o maior conteúdo de água e, também, maior conteúdo de argila.

Na camada de 0,30–0,60 m, o maior adensamento do solo pode ter contribuído para o aumento da microporosidade e auxiliou na retenção de água, pois comparando os valores de microporosidade do solo, o CR, SC e o SN tiveram maior microporosidade, enquanto o SS, a menor microporosidade. O decréscimo do conteúdo de água nessa camada foi mais gradual com o aumento da tensão, pode ser explicado pela textura mais fina do solo nessa camada. Avaliando curvas de retenção de água no solo em diferentes estados de compactação, Morales (2014) também verificou comportamento semelhante, i.e. em altas tensões o armazenamento de água foi mais alto no maior estado de compactação e atribuído à maior microporosidade do solo.

O SC e o CR proporcionaram altos valores de retenção de água na camada de 0,30–0,60 m e o SN e o SS, os menores valores. Para a camada de 0,60–1,00 m, os sistemas de preparo com maior armazenamento de água no solo foram CR, SC e SN, enquanto o SS teve os menores valores. Na camada de 0,60–1,00 m, o CR e o SC tiveram maiores valores de Pt (Figura 9) e também nos maiores conteúdos de água na saturação ($0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), o que confirma que acima da tensão de 20 kPa, a porosidade deixa de ser relevante na retenção de água (DEMATTE, 1988) e próximo a essa tensão as curvas demonstram comportamento semelhante.

Figura 12 – Curva de retenção de água no solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade.



A água disponível não diferiu significativamente entre os sistemas de preparo (Figura 13) e evidenciou baixa disponibilidade de água às plantas. Valores ideais de água disponível no solo variam entre 0,15 e 0,20 m³ m⁻³ (REYNOLDS et al., 2002). As camadas diferiram quanto à disponibilidade de água, onde os maiores valores de AD foram observados na camada de 0,30–0,60 m. Essa camada possui maior conteúdo de argila (Tabela 1), o que pode representar maior retenção de água no solo e, por isso, maior AD. Os menores valores de AD foram observados na camada de 0,20–0,30 m.

A capacidade de campo foi significativamente maior nas camadas de 0,30–0,60 e 0,60–1,00 m (Figura 14). Estas camadas também se diferenciaram das demais em relação aos valores de microporosidade do solo. Possivelmente, o maior volume de microporos elevou os valores do conteúdo de água na CC. Collares et al. (2006) avaliaram um Argissolo sob diferentes estados de compactação e na determinação da CC e do PMP, e identificaram que valores de densidade do solo mais elevados promoveram aumento na CC e no PMP, devido à redistribuição do tamanho dos poros e aumento da microporosidade do solo. Apenas a camada de 0,30–0,60 m teve diferença significativa na CC entre os sistemas de preparo, onde o SC, CR e o SN tiveram maior CC, em coerência aos maiores valores de microporosidade (Figura 11). As camadas superficiais tiveram menor CC, o que é coerente com a textura mais arenosa.

O ponto de murcha permanente diferiu significativamente entre os sistemas de preparo, apenas, nas camadas de 0,10–0,20 e 0,30–0,60 m (Figura 15). Os maiores PMP foram observados no CR e no SC na camada de 0,10–0,20 m e os menores PMP, no SN e no SS. Na camada de 0,30–0,60 m, os maiores PMP foram observados no SC, CR e SN, enquanto o SS teve o menor PMP.

Figura 13 – Conteúdo de água disponível no solo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS 5%).

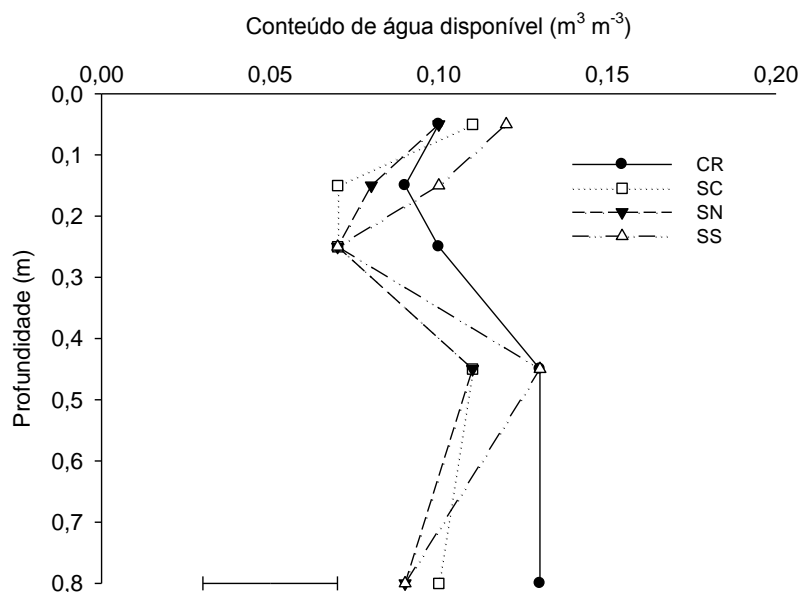


Figura 14 – Conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS 5%).

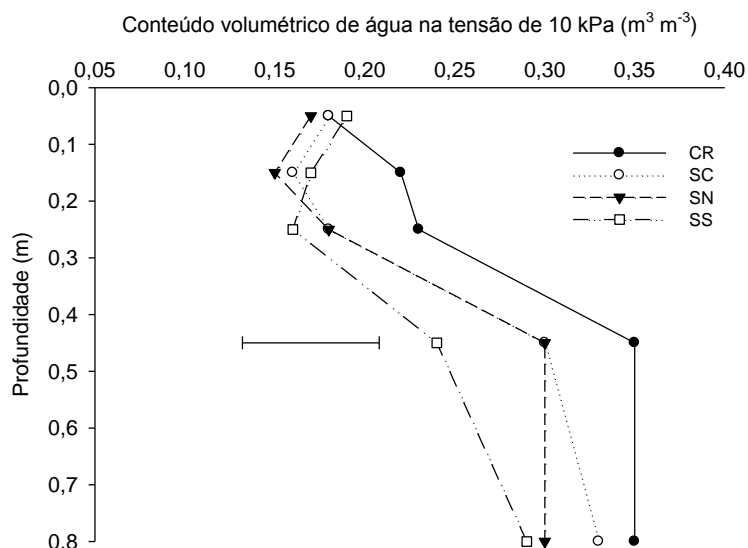
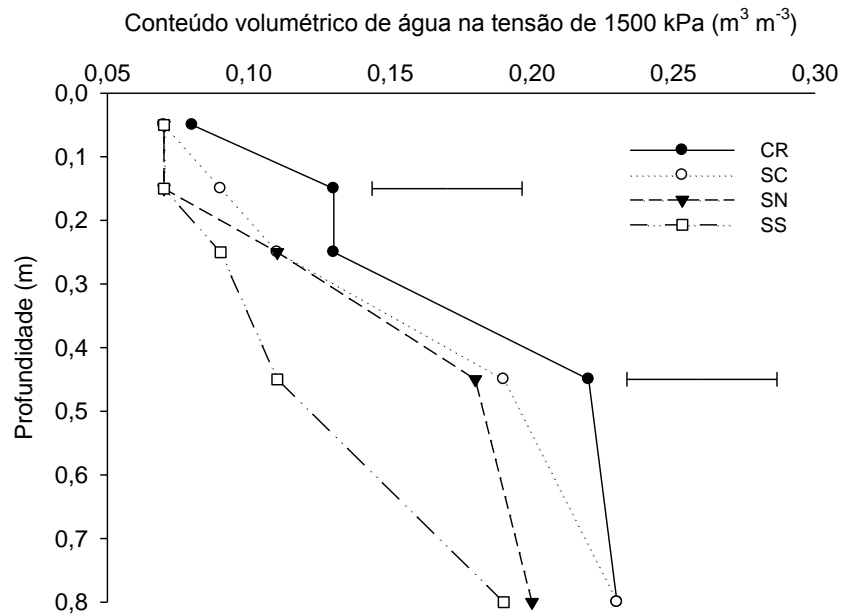


Figura 15 – Conteúdo volumétrico de água no ponto de murcha permanente para os preparos: Preparo Convencional – SC, Preparo com coveador mecânico marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS 5%).



4.3.1 Resistência do solo à penetração

A mobilização causada pelo preparo proporcionou menores valores de resistência do solo à penetração na camada superficial (0,00–0,10 m), em todos os sistemas de preparo; no entanto, não foram observadas diferenças significativas entre sistemas (Figura 16 a). Além da mobilização, a presença de resíduos culturais e o teor de matéria orgânica podem ter favorecido a melhor estruturação do solo, diminuindo, assim, a sua resistência à penetração.

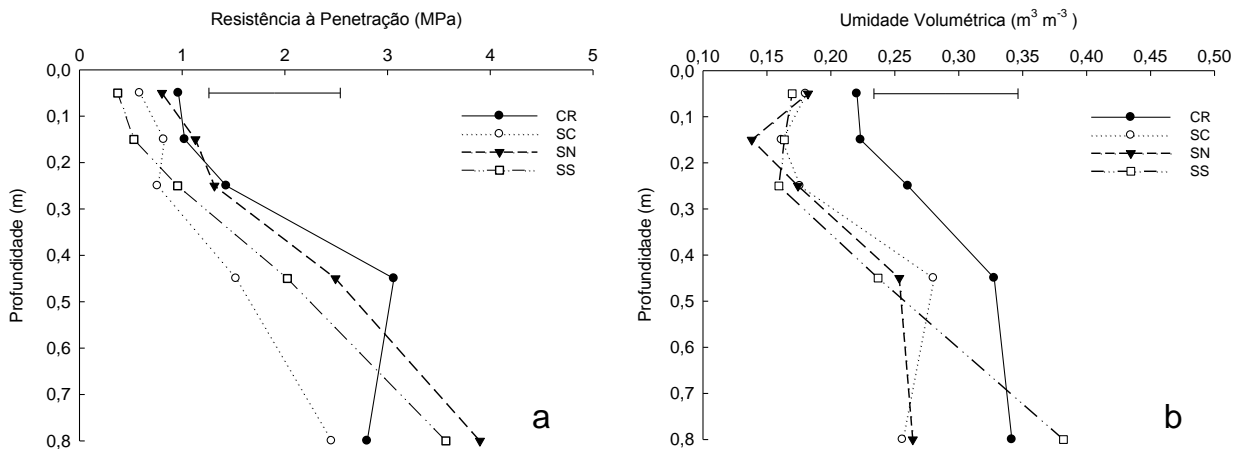
Até os 0,30 m de profundidade, a RP foi inferior a 2 MPa em todos os sistemas de preparo, o que evidencia que, nas condições de umidade que as amostras de solo foram submetidas à RP (10 kPa), todos os preparos realizados na área poderiam ser utilizados sem que houvesse impedimento ao crescimento radicular da planta até essa profundidade.

A umidade do solo aumentou nas camadas mais profundas e teve influência sobre o comportamento da RP (Figura 16 b).

Para as camadas mais profundas do solo (0,30–0,60 e 0,60–1,00 m) a RP diferiu significativamente entre os sistemas de preparo. O SC teve os menores valores de RP, diferenciando-se do CR a 0,45 m de profundidade, e do SN a 0,80 m de profundidade. É possível que os preparos tenham alcançado maior profundidade, e assim houve aumento da resistência à penetração, que pode estar relacionado à pressão exercida pelas máquinas no solo, utilizadas na colheita do ciclo anterior, ou mesmo pela textura mais argilosa, no qual proporcionam maior coesão, e assim maior resistência à ruptura do solo pela ação dos implementos mobilizadores (REICHERT et al., 2010).

Contudo, os preparos SC e SS mostraram-se eficientes na diminuição da resistência à penetração em maior profundidade, o que indica que a subsolagem possui bom desempenho para rompimento de camadas profundas do solo. O SC pode ter proporcionado menor RP pelo sentido da mobilização, que foi realizada a favor do declive e assim não ter maiores empecilhos na subsolagem, diferente do SN, cujo preparo pode ter sido prejudicado pelas raízes dos tocos remanescentes, já que o desbastador apenas realiza um rebaixamento do toco na área, mas parte abaixo do solo não é retirada.

Figura 16 – Resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica (b) de um Argissolo submetido a quatro sistemas de preparo do solo em área de reforma para a implantação de povoamentos de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS. Preparo Convencional – SC, Coveamento mecânico com coveador marca Rotree – CR, Preparo em Nível – SN e Preparo com Subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barra horizontal indica a diferença mínima significativa (DMS 5%).



Em campo, a resistência à penetração teve valores mais baixos até 0,30 m, chegando a 3 MPa e aproximando-se de 4 MPa (Figura 17), enquanto a umidade gravimétrica do solo foi inferior a $0,10 \text{ kg kg}^{-1}$ na maior parte das avaliações até essa profundidade (Figura 18). Em maior profundidade, houve incremento na RP em todos os sistemas de preparo. Em algumas ocasiões de baixa umidade do solo não foi possível fazer a avaliação da RP até 0,80 m de profundidade. Comportamento semelhante foi observado por Reichert et al. (2009b), em que a RP não foi avaliada aos 42 e 46 dias após a emergência do feijão-preto, pois seus valores foram maiores que a capacidade do equipamento em realizar leituras devido à baixa umidade do solo.

O SC proporcionou RP de 2 MPa até 0,20 m de profundidade, enquanto o CR teve variações na RP, atingindo 3 MPa. O SN teve RP entre 2 e 3 MPa. O SS teve RP de 2 MPa até 0,20 m de profundidade, aumentando para 3 MPa, valor esse que se estendeu para maiores profundidades, principalmente na linha de plantio até 0,70 m de profundidade. Assim, o SS foi mais efetivo na redução da RP em relação aos demais

sistemas de preparo, o que pode favorecer o desenvolvimento das raízes e a maior absorção de água e nutrientes, e o desenvolvimento inicial da planta.

Em maior profundidade, os sistemas de preparo SC, CR e SN tiveram RP entre 4 e 8 MPa, o que pode ser restritivo ao desenvolvimento radicular, porém os valores de RP não são uniformes e, assim, as raízes podem encontrar regiões de menor RP para seu crescimento. Sands et al. (1979) verificaram que valores maiores que 3 MPa provocaram uma redução severa no crescimento de raízes de Pinus. Resultados similares ao do presente estudo foram observados por Dedecek et al. (2007), em uma área de segunda rotação com o plantio de *E. grandis*. Esses autores observaram maior RP na camada de 0,20–0,30 m, em que a RP de 9 MPa ocorreu afastando-se da linha de preparo e maior do que 9 MPa à 0,50 m. Dedecek et al. (2007) observaram que na linha de plantio os valores de RP foram baixos para ambos os sistemas de preparo, no entanto afastando-se da linha de preparo os valores de RP subiram alcançando valores críticos ao crescimento das raízes.

Diferentemente da resistência à penetração avaliada com penetrômetro de bancada, na RP a campo, o penetrômetro é operado manualmente, de forma que a força física do operador pode interferir na taxa de penetração e no resultado da avaliação, principalmente em solos muito secos ou cascalhentos (SÁ; SANTOS JUNIOR, 2007). É importante enfatizar que o presente estudo foi conduzido em uma área florestal que passa pela influência de máquinas pesadas, além do alto teor de cascalho desse solo, fatores que podem influenciar nas medições de resistência a campo e no aumento da RP.

Em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. globulus* foi observado por Schumacher (1995) que nos primeiros 30 cm de profundidade do solo encontravam-se a maioria das raízes finas das árvores, as quais são responsáveis pela absorção de água e nutrientes. Este mesmo autor descreveu que a medida que as raízes finas encontravam uma camada de impedimento, como uma camada mais adensada, ocorria uma diminuição das mesmas. E a medida que o solo passava a ter boas condições de permeabilidade, as raízes finas cresciam em camadas mais profundas do solo. Nesse sentido, em uma avaliação a respeito da influência da camada de impedimento no solo sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis*, Finger et al. (1996) constataram que o

crescimento do *Eucalyptus grandis* foi afetado pela camada de impedimento no solo e que o solo submetido a subsolagem acarretou na maior sobrevivência, no maior crescimento em diâmetro e altura das plantas do que o solo não subsolado e com presença de impedimento.

No entanto, o crescimento do sistema radicular das plantas pode não ser afetado pela resistência imposta, como a presença de cascalho no solo, já que as raízes podem utilizar de mecanismos para desviar desses impedimentos, como pela mudança na direção de crescimento (BENTIVENHA et al., 2003). Um dos mecanismos das raízes para crescimento em solos com determinado impedimento é a diminuição de seu diâmetro, possibilitando a capacidade de penetrar em poros pequenos. Desse modo, a resistência mecânica do solo estimula a proliferação de raízes finais (RUSSEL & GOSS, 1974).

Os elevados valores de RP observados no presente estudo podem ser decorrentes da reconsolidação do solo, aos quatro meses após o preparo, ou do tráfego de máquinas na operação da colheita. Martins et al. (2002) observaram que os povoamentos de eucalipto e pinus que receberam o preparo do solo no momento da implantação tiveram maior RP nas camadas de 0,20 a 0,40 m, em virtude da pressão efetuada pelas máquinas no solo no momento da implantação. Prevedello et al. (2013) atribuíram o aumento da RP em profundidade ao tráfego de máquinas que impõe pressões no solo que podem ter efeito cumulativo e acomodação natural das partículas.

A elevada RP do solo em baixa umidade evidencia os efeitos de técnicas de preparo do solo em condições mais restritas de umidade, que pode ser altamente restritiva ao desenvolvimento de raízes.

Figura 17 – Resistência do solo à penetração avaliada após o preparo do solo para a- Preparo Convencional – SC, b- Coveamento mecânico com coveador marca Rotree – CR, c- Preparo em Nível – SN e d- Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS.

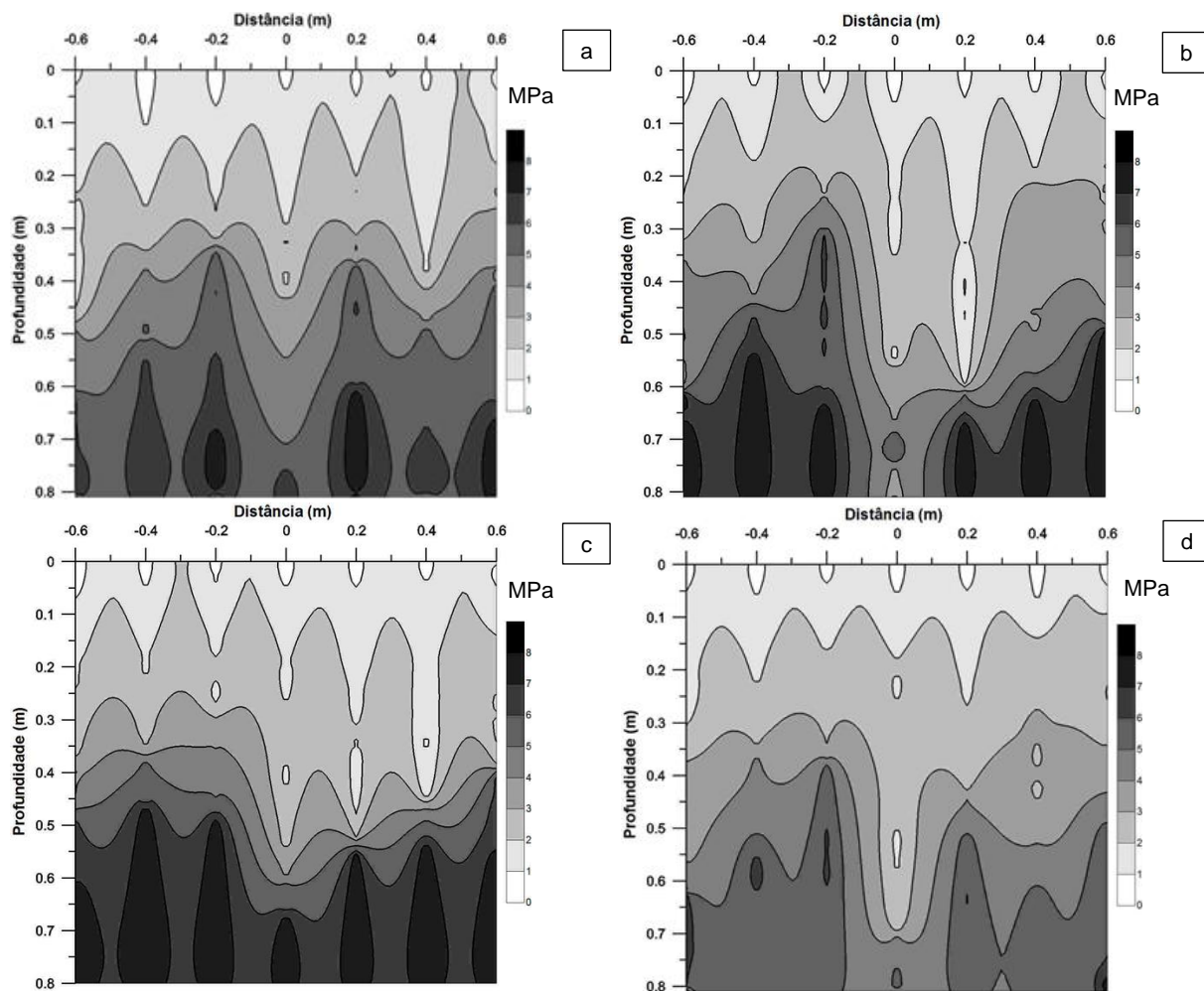
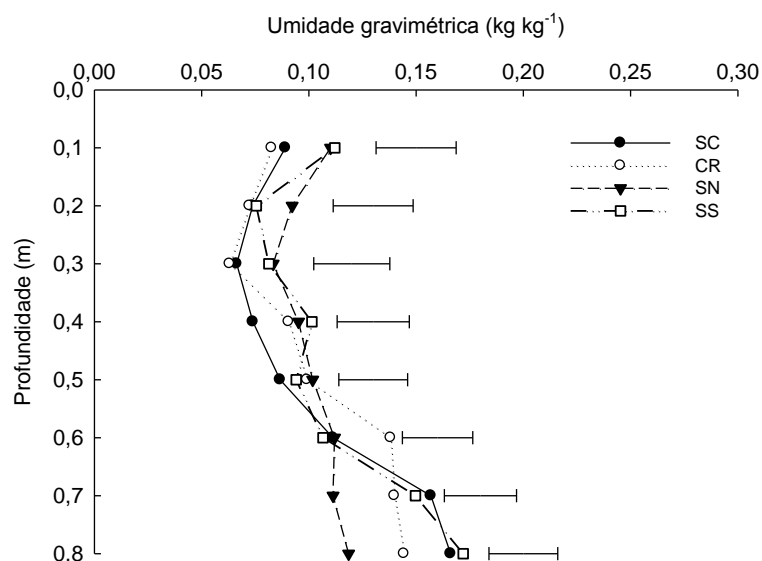


Figura 18 – Umidade gravimétrica do solo avaliada após o preparo do solo no momento de medição da RP para a- Preparo Convencional – SC, b- Coveamento mecânico com coveador marca Rotree – CR, c- Preparo em Nível – SN e d- Preparo com subsolador marca Savannah, mais camalhão – SS. Barras horizontais indicam a diferença mínima significativa (DMS 5%).



4.3.2 Solo mobilizado no preparo

O volume de solo mobilizado diferiu significativamente entre os sistemas de preparo do solo (Tabela 8). O SC teve o maior volume de solo mobilizado, seguido do SS e do SN, enquanto o CR teve o menor volume de solo mobilizado. Mesmo com o menor volume de solo mobilizado no CR, o coveamento é a técnica mais indicada para áreas acidentadas como a do estudo, visando à conservação do solo. Em um estudo sobre o desenvolvimento inicial do *Eucalyptus grandis* em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes métodos de preparos do solo, Wichert (2005) avaliou o volume de solo mobilizado e verificou diferenças entre a subsolagem (subsolador modelo DMB monohaste) com $1076,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, o coveamento mecânico (coveador mecânico dupla haste) com $142,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e o coveamento manual (enxada) com $52,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Com base nos resultados das avaliações de perdas de solo e avaliações dendrométricas, esse mesmo autor relata que o coveamento mecânico oferece menor

risco erosivo, pois prepara menor volume de solo do que a subsolagem, além disso, mostrou-se eficaz para o estabelecimento das mudas no campo.

Mazurana et al. (2011) observaram que a técnica de coveamento proporcionou a menor mobilização do solo e a maior cobertura com resíduos, além de resultar em menores perdas de nutrientes, em comparação a outros sistemas de preparo de um Cambissolo Háplico.

Devido ao sentido da realização do preparo no sistema SC ser morro a baixo, o SC foi interrompido de 4 em 4 metros, de modo que a haste mobilizadora do solo foi levantada de modo intermitente, a fim de diminuir a suscetibilidade à erosão. Mesmo com o preparo interrompido, o SC mobilizou o maior volume de solo, diferenciando-se dos demais sistemas de preparo. Baptista e Levien (2010) avaliaram a subsolagem com resíduos, a subsolagem interrompida, a subsolagem sem resíduos e o coveamento e observaram redução no volume de solo mobilizado no sistema de preparo com coveamento mecânico, enquanto o maior volume de solo mobilizado nas áreas submetidas à subsolagem ocorreu na área sem resíduos. No entanto, os mesmos autores observaram que o coveamento mobilizou menor volume de solo, mas mostrou-se eficiente na redução de perdas de solo.

Tabela 8 – Volume de solo mobilizado nos preparos do solo avaliados na área de reforma.

Sistema de Preparo*	VSM (m³ha⁻¹)
SC	870,39 a
CR	337,96 c
SN	710,68 b
SS	684,39 b

* SC: Subsolagem convencional, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido do declive, interrompido 4 a 4 m; CR: Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree; SN: Subsolagem em nível, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco e SS: Subsolagem com subsolador marca Savannah, mais camalhão, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco. Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade de erro.

4.3.3 Crescimento inicial do *E. saligna*

Os sistemas de preparo do solo proporcionaram diferenças significativas na fase inicial do crescimento das mudas de eucalipto.

A sobrevivência do *E. saligna* foi significativa para os tratamentos entre os sistemas de preparo em todas as idades avaliadas (Tabela 9). Aos 90 dias após o plantio, a maior sobrevivência foi observada no SN, enquanto o SS teve a segunda maior taxa de sobrevivência. A menor taxa de sobrevivência ocorreu no CR. Aos 180 dias após o plantio, a sobrevivência foi significativamente maior no SN e no SS, enquanto a menor taxa foi observada no CR e no SC. Aos 330 dias após o plantio, a taxa de sobrevivência foi significativamente maior no SS e menor no CR.

A menor sobrevivência das mudas de eucalipto no CR pode ser função do menor volume de solo revolvido, o que favorece a maior competição com plantas daninhas e representa menor disponibilidade de água e nutrientes na fase inicial do desenvolvimento do eucalipto. No campo foi possível constatar o efeito visual da competição de outras plantas com as plantas de eucalipto para os distintos sistemas de preparo, e foi notável que o CR foi mais afetado pela matocompetição que os demais sistemas, o que pode ter prejudicado as plantas de eucalipto e propiciado menor sobrevivência.

Em estudo de Prevedello (2008), o plantio direto teve menor índice de sobrevivência comparado aos sistemas de preparo com maior revolvimento do solo, devido à maior competição com plantas daninhas. A sobrevivência também pode ter sido influenciada pela menor resistência do solo à penetração observada nos sistemas de preparo submetidos à subsolagem (Figura 16a), que pode ter favorecido o enraizamento e exploração de maior volume de solo, estabelecendo melhores condições para a sobrevivência das plantas.

Tabela 9 – Porcentagem de sobrevivência em diferentes idades do *E. saligna* nos preparos do solo avaliados na área de reforma.

Sistema de preparo*	Sobrevivência (%)		
	Idade (dias)		
	90	180	330
SC	97 c	93 b	92 c
R	95 d	92 b	91 d
SN	100 a	96 a	95 b
SS	99 b	96 a	96 a

* SC: Subsolação convencional, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido do declive, interrompido 4 a 4 m; CR: Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree; SN: Subsolação em nível, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco e SS: Subsolação com subsolador marca Savannah, mais camalhão, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco. Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade de erro.

A altura de plantas diferiu significativamente entre sistemas de preparo aos 90, 180 e 330 dias após o plantio do *E. saligna* (Tabela 10). O SS proporcionou maior crescimento das plantas em altura aos 90, 180 e 330 dias, mas aos 330 dias a altura de plantas do SS não diferiu da altura de plantas do SC. Como o SS é um preparo mais intensivo do solo, tanto pela haste que atua no rompimento das camadas, como pelos discos que revolvem o solo formando o camalhão, o preparo favoreceu a formação de um ambiente adequado influenciando as variáveis de crescimento da planta. Gatto et al. (2003) observaram, com o aumento da intensidade dos sistemas de preparo do solo em área de reforma, tendência de aumento na sobrevivência, circunferência e altura.

O menor crescimento em altura das plantas de eucalipto foi observado no preparo do solo com coveamento, CR aos 90, 180 e 330 dias após o plantio, possivelmente devido ao revolvimento menos intensivo do solo. A altura de plantas observada no SN não diferiu do CR aos 90 dias, enquanto, aos 180 e 330 dias, a altura foi maior do que no CR, mas menor do que no SC e no SS.

O crescimento em diâmetro a altura do peito (Dap) foi similar ao crescimento em altura (Tabela 11), em que o SS teve Dap significativamente maior do que nos demais

sistemas de preparo do solo aos 180 e 330 dias, enquanto os menores Dap foram observados no CR.

O preparo do solo em áreas florestais visa proporcionar um ambiente físico adequado, no qual as propriedades físicas do solo permaneçam dentro dos limites estabelecidos e, assim, o crescimento para as raízes seja facilitado de modo a disponibilizar maior quantidade de água e nutrientes, e ainda pela mobilização do solo reduzir a incidência de plantas daninhas para impulsionar o estabelecimento inicial das mudas. O SS proporcionou maior crescimento inicial das plantas de eucalipto, com base na sobrevivência, na altura e no Dap.

O volume das plantas de eucalipto, avaliado aos 330 dias, foi maior no SS e o menor no CR (Tabela 12). Prevedello (2008) observou que a maior intensidade de preparo do solo proporcionou aumento na sobrevivência, no Dap, no volume e na área basal de *E. grandis* aos 12 meses após o plantio. Morales (2014) observou maior crescimento em diâmetro e altura das plantas de *E. saligna* em sistema de preparo submetido à subsolagem a 50 cm de profundidade mais camalhão em diferentes idades.

Tabela 10 – Altura em diferentes idades do *E. saligna* nos preparos do solo avaliados na área de reforma.

Sistema de Preparo	Altura (m)		
	Idade (dias)		
	90	180	330
SC	1,04 b	2,25 b	4,22 a
CR	0,96 c	2,00 d	3,70 c
SN	0,99 c	2,15 c	4,06 b
SS	1,10 a	2,38 a	4,28 a

*SC: Subsolagem convencional, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido do declive, interrompido 4 a 4 m; CR: Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree; SN: Subsolagem em nível, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco e SS: Subsolagem com subsolador marca Savannah, mais camalhão, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco. Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 11 – Diâmetro à altura do peito em diferentes idades do *E. saligna* nos preparos do solo avaliados na área de reforma.

Sistema de Preparo	Dap (cm)	
	Idade (dias)	
	180	330
SC	1,51 b	4,26 b
CR	1,18 d	3,63 d
SN	1,38 c	4,05 c
SS	1,75 a	4,44 a

*SC: Subsolação convencional, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido do declive, interrompido 4 a 4 m; CR: Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree; SN: Subsolação em nível, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco e SS: Subsolação com subsolador marca Savannah, mais camalhão, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco. Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 12 – Valores médios de volume do *E. saligna* aos 330 dias nos preparos do solo avaliados na área de reforma.

Sistema de Preparo*	Volume (m ³ ha ⁻¹)	
	Idade (dias)	
	330	
SC	3,07 b	
CR	2,06 d	
SN	2,68 c	
SS	3,35 a	

*SC: Subsolação convencional, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido do declive, interrompido 4 a 4 m; CR: Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree; SN: Subsolação em nível, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco e SS: Subsolação com subsolador marca Savannah, mais camalhão, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco. Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade de erro.

5 CONCLUSÃO

O crescimento das plantas de *Eucalyptus saligna* é um bom indicador do efeito dos sistemas de preparo do solo sobre o crescimento inicial.

O custo total das operações silviculturais com coveamento mecânico (CR) é menor em relação aos sistemas de preparo com subsolagem (SN e SS). Contudo, esse sistema de preparo proporciona o menor crescimento inicial das plantas de eucalipto e pode resultar em menor produtividade dos plantios florestais em área de reforma.

Embora pouca diferença tenha sido observada nas propriedades físicas do solo entre os tratamentos, os resultados evidenciam que o revolvimento do solo proporciona valores adequados para as propriedades físicas, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e armazenamento de água no solo em camadas mais profundas em área de reforma. A água disponível e a resistência do solo à penetração não foram adequadas em maior profundidade.

Com base nos resultados do crescimento de plantas e também de propriedades físicas que diferiram dos demais sistemas de preparo em maior profundidade do solo, recomenda-se o preparo do solo de subsolagem mais camalhão (SS), com subsolador marca Savannah em áreas de reforma, pois resultou em maiores benefícios às plantas no estágio inicial de desenvolvimento, embora o custo desse sistema de preparo possa restringir a sua utilização.

REFERÊNCIAS

- AGEFLOR. ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DE EMPRESAS FLORESTAIS. **A Indústria de Base Florestal no Rio Grande do Sul**. Ano base 2015. Curitiba, 2016.
- ALMEIDA, A. C., SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (mata atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.
- ANTONANGELO, A.; BACHA, C. J. C. As fases da silvicultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**. 1998.
- ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I.; A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. **Soil & Tillage Research.**, n. 20, p. 319-332, 1991.
- BAPTISTA, J.; LEVIEN, R. Métodos de preparo de solo e sua influência na erosão hídrica e no acúmulo de biomassa da parte aérea de *Eucalyptus Saligna* em um Cambissolo háplico da depressão central do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 34, n. 4, p. 567-575, 2010.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. de. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. 330p.
- BENTIVENHA, S.R.P. **Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste subsoladora, profundidade de trabalho e características do solo**. Piracicaba, 2001. 60p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- BENTIVENHA, S. R. P.; GONÇALVES, J. L. M.; SASAKI, C. M.; Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste subsoladora, profundidade de trabalho e características do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.588-605, 2003.
- BISSANI, C. A.; MEURER, E. J.; BOHNEN, H. Solos ácidos e solos afetados por sais.. 2006. In: MEURER, E. J; **Fundamentos de Química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2006, p.163-183.
- BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 344p.
- BRIGHENTI, I.; ALMEIDA, J. A.; HOFER, A. Mineralogia e gênese de Argissolos das Serras do tabuleiro/Itajaí, estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1057-1071, 2012.

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, 2005.

COLLARES, G. L. et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, nov. 2006.

COSTA, L. M. et al. Influência das características morfológicas, estruturais e texturais do solo na definição do seu preparo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002, p. 207- 219.

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, 2005.

DEDECEK, R. A; MENEGOL, O.; BELLOTE, A. F. J. Influence of residue management and soil tillage on second rotation *Eucalyptus* growth. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v.74, p.09-17, 2007.

DEMATTE, J. L. I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos região amazônica**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215p.

DOSSA, D. et al. **Produção e rentabilidade do eucalipto em empresas florestais**. Colombo: Embrapa, 2002. 4p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, Embrapa, 2013, 353p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, UFLA, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FINGER, C. A. G. et al. Influência da camada de impedimento no solo sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.1, p.137-145, 1996.

FORTES, A. B. **Geografia física do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Globo, 1959. 393 p.

GATTO, A. 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-MG, v. 27, n. 5, p. 635-646, 2003.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Métodos de preparo do solo e manejo de resíduos culturais em plantações florestais** (compactdisc). In: SEMINÁRIO SOBRE MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE PREPARO DO SOLO PARA PLANTIO DE FLORESTAS, Piracicaba, 2000. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000.

GONÇALVES, J. L. M. 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, p.131-200.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de Adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Nativas. Piracicaba, **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF)**, 2005. Disponível em <<http://www.ipef.br/silvicultura/adubacao.asp>> Acesso em: 20 jan. 2017.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research** v. 82, p.121–145, 2005.

HONGGUANG, C. et al. Effect of subsoil tillage depth on nutrient accumulation, root distribution, and grain yield in spring maize. **The crop journal**, v.2, p.297-307, 2014.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual IBÁ 2016**. Ano base 2015. Brasília, 2016.

IPEF, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. **Série Técnica**. IPEF, Piracicaba, v. 17, n. 38, 2013.

KAISER, D. R. et al. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.845-855, 2009.

KAMINSKI, J. et al. Acidez e calagem em solos do sul do Brasil: Aspectos históricos e perspectivas futuras. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (Orgs.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 307-329, 2007.

KLEIN, V. A. et al. Metodologias de controle de qualidade de análises granulométricas do solo. **Ciência Rural**, v. 43, p. 850-853, 2013.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 2. ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2014. 240p.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. Part. 1. p. 635-662.

LAL, R. The role of physical properties in maintaining productivity of soils in the tropics. In: LAL, R.; GREELAND, D. J. (Ed). **Soil physical properties and crop production in the tropics**. Chichester: J. Wiley & Sons, 1979.

LIMA, C. L. R de. et al. Densidade crítica ao crescimento de plantas considerando água disponível e resistência à penetração de um Argissolo Vermelho distrófico arênico. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1166-1169, 2007.

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

MATTOS, E. M et al., **Avaliação do preparo de solo realizado pelo coveador mecânico “Rotree” e seu impacto na produtividade e uniformidade do povoamento**. In: Encontro Brasileiro de Silvicultura, 3, 2014, Campinas. Anais... Campinas, 2014. Disponível em:<<http://www.expoforest.com.br/silvicultura/wp-content/uploads/2013/09/encontro-silvicultura-2014-pag-91.pdf>>. Acesso em: 15 dezembro. 2016.

MAZURANA, M et al. Balanço de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus saligna* implantado sobre Cambissolo Háplico no RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 924-930, 2011.

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, 1996.

MONIZ, A.C. Decomposição de rochas e formação de minerais de argila. In: MONIZ, A.C. (ed.). **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Ed. USP, 1975. Cap. 25, p. 305-323.

MORALES, C. A. S. **Preparos e atributos físicos de solos para plantio de eucalipto**. 2014. 183 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

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

PAIXÃO, F. A. et al. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 411-420, 2006.

PIGATTO, C. S; FRANÇA, J. S. GUBIANI, P. I. **Diferença na Retenção de Água no Solo Obtida com WP4 de Amostras com e sem Cascalho**. In: Reunião Sul-Brasileira

de Ciência do Solo, 11, 2016, Frederico Westphalen. Anais...Frederico Westphalen: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016.

PREVEDELLO, J. **Preparo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. em Argissolo.** 2008. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PREVEDELLO, J. et al. Manejo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em Argissolo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 129-138, 2013.

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

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (Orgs.) **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 49-134, 2007.

REICHERT, J. M. et al. Reference bulk density and critical degree-of compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v.102, n. 2, p.242- 254, 2009a.

REICHERT, J. M. et al. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 44, n. 3, p. 310-319, mar. 2009b.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do Solo. In: JONG VAN LIER, Q. **Física do Solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 29-102, 2010.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1930-1935, 2006.

REYNOLDS, W. D. et al. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p.131- 146, 2002.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina**, 26:321-344, 2005.

RIGGERT, R.; GAERTIG, T.; HORN, R. Stress Distribution under Forestry Machinery and Consequences for Soil Stability. **Soil Science Society of America. Journal**, 2016.

RUSSEL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots to the mechanical impedance. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 22, p. 305-318, 1974.

SA, M. A. C; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. **Considerações teóricas sobre o cálculo da resistência mecânica do solo à penetração determinada com penetrômetros dinâmicos**. Planaltina, Embrapa, 2007.

SAFFIHH- ADADI, K.; DÉFOSSEZ, P.; RICHARD, G.; CUI, Y.-J.; TANG, A.-M.; CHAPLAIN, V. A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, p. 96-103, 2009.

SANDS, R.; GREACEN, E.L.; GERARD, C.J. Compaction of sandy soils in radiata pine forests: 1- a penetrometer study. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.17, p.101–113, 1979.

SANCHES, O. A.; YONEZAWA, J. T.; ZEN, S. **Evolução do cultivo mínimo em reflorestamentos na Cia. Suzano de papel e celulose**. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1. Curitiba, 1995. Anais... Curitiba, CNPFlorestas, IPEF, UNESP, SIF, FUPEF, p. 140-147, 1995.

SASAKI, C.M.; BENTIVENHA, S.R.P.; GONÇALVES, J.L.M. Configurações básicas de subsoladores florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap.12, p.393-407.

SASAKI, C. M.; GONÇALVES, J. L. M.; Desempenho operacional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água em três Latossolos. **Scientia Forestalis** n. 69, p. 115-124, 2005.

SASAKI, C. M.; GONÇALVES J. L. M.; BENTIVENHA, S. R. P. Desempenho operacional de hastes subsoladoras em função da ponteira e do tipo do solo. **Scientia Forestalis**, v.67, p.44- 52, 2005.

SCHUMACHER, M. V. **Naehrstoffkreislauf in verschiedenen bestaenden von *Eucalyptus saligna* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (Maiden) und *Eucalyptus globulus* (Labillardiere) in Rio Grande do Sul, Brasilien**. 164 p. (Tese de Doutorado) Wien: Universitaet fuer Bodenkultur. 1995.

SCHUMACHER, M. V.; CORRÊA, R. S.; VOGEL, H.L.M. Crescimento do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, em diferentes formas de preparo de solo. **Comissão Técnica Silvicultura e Manejo**, 2002.

SILVA, C. R. et al. Preparo de solo em áreas acidentadas do Vale do Paraíba do Sul - SP. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002, p.245-258.

SILVA, S. R. et al. Soil compaction and Eucalyptus growth in response to forwarder traffic intensity and load. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.921-932, 2008.

SILVEIRA, G.M. **O preparo do solo: implementos corretos**. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 243p.

SILVEIRA, R. L. V. A. et al. Seja o doutor do seu eucalipto. Piracicaba, **Potafós** Arquivo do Agrônomo. p. 1-32, n.12, 2001.

SIXEL, R. M. M. **Produção de florestas com qualidade: Preparo do solo**. 2009. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Disponível em: <<http://www.ipef.br/silvicultura/preparodesolo.asp>> Acesso em: 15 dezembro. 2016.

SPOOR, G.; GODWIN, R. J. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of agriculture engineering research**, v.23, p.243- 258, 1978.

STARTSEV, A. D; McNABB, D. H. Effects of skidding on forest soil infiltration in west-central Alberta. *Can. J. Soil Sci.*, 80:617-624, 2000.

STAPE, J. L. 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, p.259-296.

STEPNIEWSKI, W.; GLIŃSKI, J.; BALL, B. C. Effects of compaction on soil aeration properties. In: SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. van. (Eds.). **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, p. 45-69, 1994.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Condição estrutural de um Argissolo no Rio Grande do Sul, em floresta nativa, em pastagem cultivada e em povoamento com eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, p. 833-843, 2012.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Dispersion and flocculation of Vertisols, Alfisols and Oxisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 5, p. 64-70, 2015.

TAVARES FILHO, J. **Física e conservação do solo e água**. Londrina: Eduel, 2013. 256 p.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil 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. 33, n. 320, p. 34-44, 1980.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

VALE, R. S.; **Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da zona da mata de Minas gerais**. Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2004.

Van Genuchten MT. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-897, 1980.

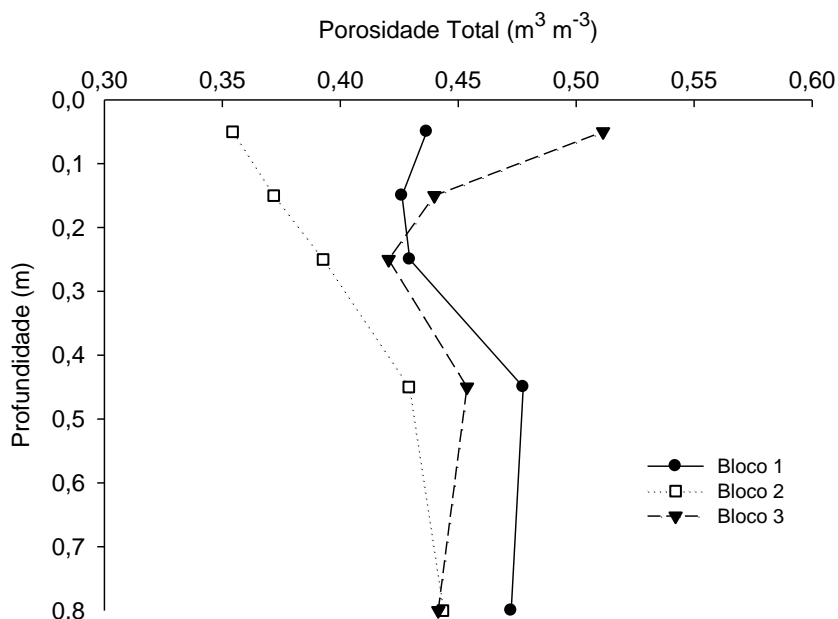
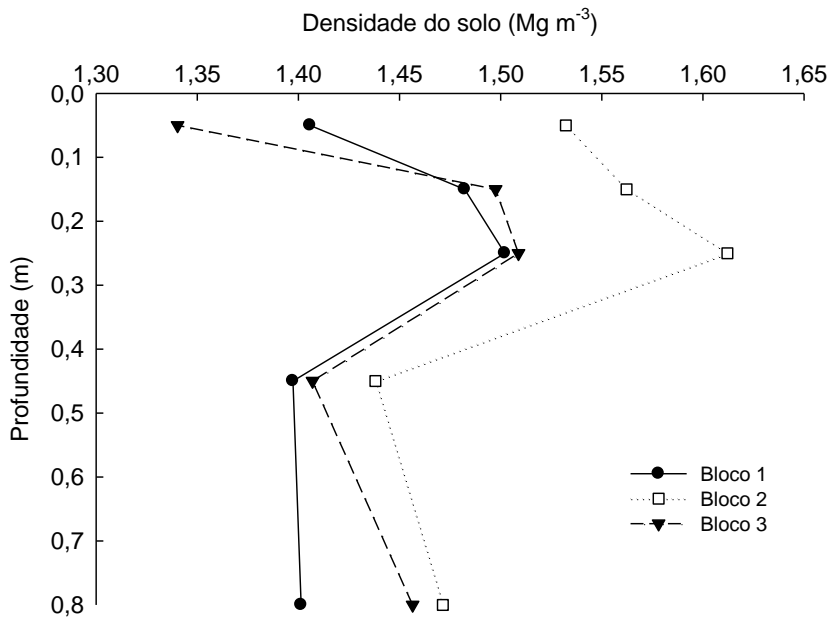
VITAL, M. H. F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, 2007.

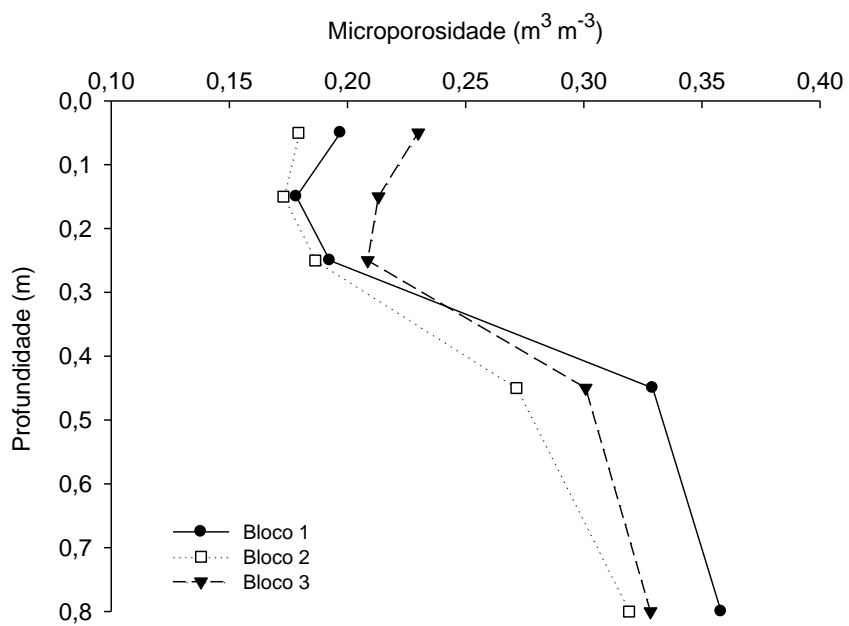
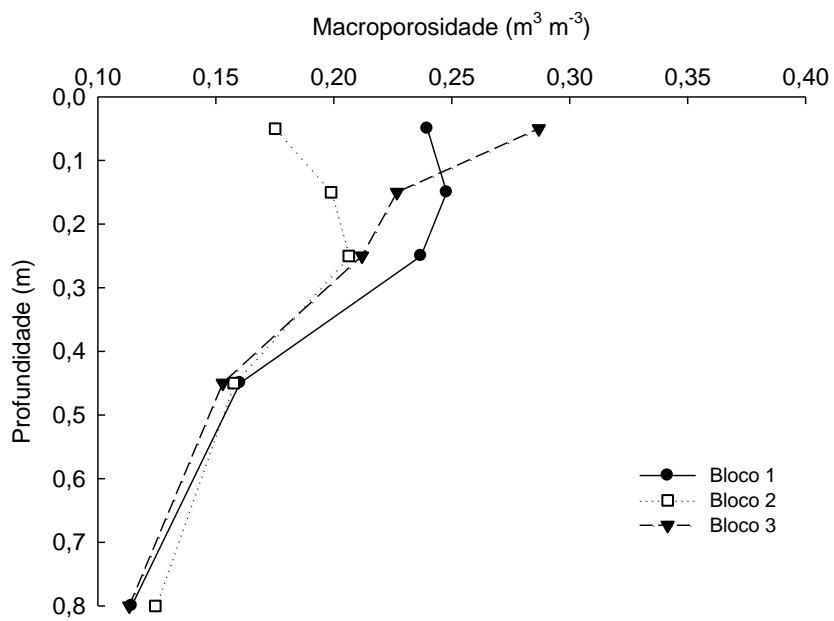
WICHERT, M. C. P. **Erosão hídrica e desenvolvimento inicial do *Eucalyptus grandis* em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes métodos de preparo de solo no Vale do Paraíba – SP**. 2005. 83 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

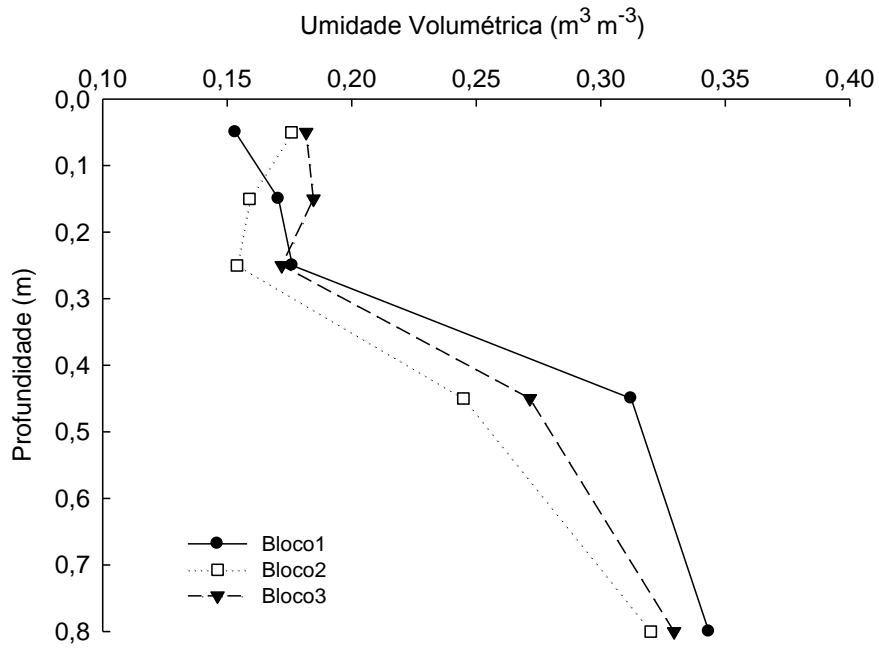
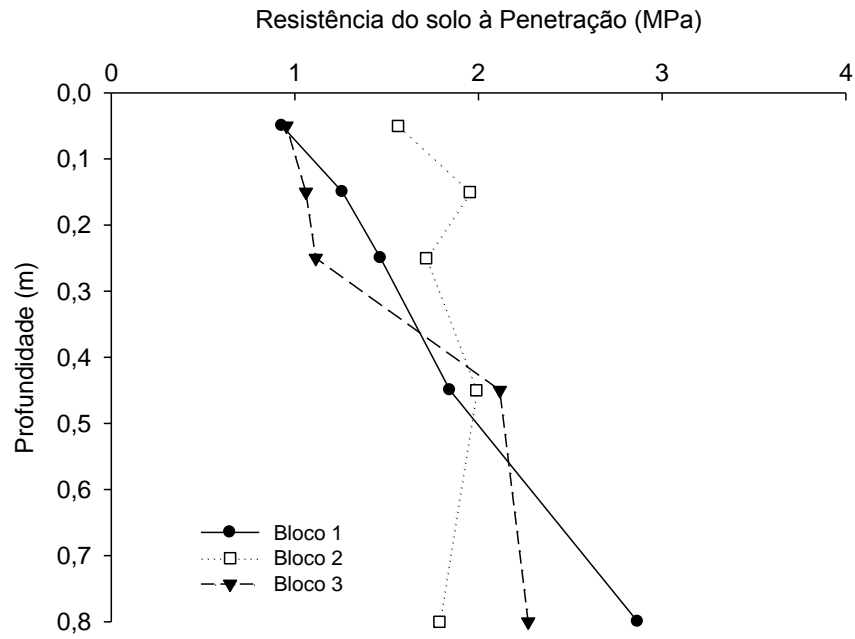
ZHANG P, SHAO G, ZHAO G, LE MASTER DC, PARKER GR, DUNNING JB Jr, LI Q. Ecology- China's forest policy for the 21st century. **Science**, 288:..2135-2136, 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Valores de Densidade do solo (Ds), Porosidade total (Pt), Macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic), Resistência à penetração avaliada com penetrômetro de bancada e Umidade volumétrica, para os três blocos avaliados de um Argissolo em área de reforma para a implantação de povoamentos de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS.







APÊNDICE B –

Tabela 1- Média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) da densidade do solo (Ds), da porosidade total (Pt), da macroporosidade (Mac) e da microporosidade (Mic) de um Argissolo submetido a quatro sistemas de preparo do solo em área de reforma para a implantação de povoamentos de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS.

Sistema de preparo*	Ds		Pt		Macro		Micro	
	(Mg m ⁻³)		(m ³ m ⁻³)		(m ³ m ⁻³)		(m ³ m ⁻³)	
Camada 0,00–0,10 m								
CR	1,40 ^{ns}	±0,05	0,44 ^{ns}	±0,04	0,25 ^{ns}	±0,05	0,19 ^{ns}	±0,03
SC	1,37 ^{ns}	±0,05	0,47 ^{ns}	±0,02	0,27 ^{ns}	±0,03	0,19 ^{ns}	±0,03
SN	1,46 ^{ns}	±0,06	0,44 ^{ns}	±0,03	0,26 ^{ns}	±0,04	0,19 ^{ns}	±0,02
SS	1,40 ^{ns}	±0,10	0,47 ^{ns}	±0,04	0,26 ^{ns}	±0,01	0,21 ^{ns}	±0,03
CV(%)	4,8		7,19		6,5		15,3	
Camada 0,10–0,20 m								
CR	1,47 ^{ns}	±0,08	0,46 ^{ns}	±0,01	0,23 ^{ns}	±0,08	0,23 ^{ns}	±0,08
SC	1,44 ^{ns}	±0,10	0,44 ^{ns}	±0,02	0,27 ^{ns}	±0,02	0,17 ^{ns}	±0,01
SN	1,52 ^{ns}	±0,01	0,44 ^{ns}	±0,01	0,27 ^{ns}	±0,01	0,17 ^{ns}	±0,02
SS	1,41 ^{ns}	±0,16	0,43 ^{ns}	±0,03	0,25 ^{ns}	±0,00	0,18 ^{ns}	±0,03
CV(%)	3,6		4,77		8,3		6,1	
Camada 0,20–0,30 m								
CR	1,47 ^{ns}	±0,09	0,45 ^{ns}	±0,02	0,21 ^{ns}	±0,10	0,24 ^{ns}	±0,11
SC	1,50 ^{ns}	±0,09	0,46 ^{ns}	±0,05	0,26 ^{ns}	±0,01	0,20 ^{ns}	±0,04
SN	1,57 ^{ns}	±0,01	0,44 ^{ns}	±0,01	0,24 ^{ns}	±0,04	0,20 ^{ns}	±0,04
SS	1,49 ^{ns}	±0,07	0,43 ^{ns}	±0,02	0,25 ^{ns}	±0,03	0,18 ^{ns}	±0,02
CV(%)	3,8		5,39		13,9		8,2	
Camada 0,30–0,60 m								
CR	1,42 ^{ns}	±0,05	0,48 ^{ns}	±0,03	0,12 b	±0,03	0,36 a	±0,04
SC	1,39 ^{ns}	±0,05	0,48 ^{ns}	±0,01	0,17 ab	±0,03	0,31 ab	±0,04
SN	1,45 ^{ns}	±0,10	0,46 ^{ns}	±0,05	0,15 ab	±0,02	0,31 ab	±0,07
SS	1,43 ^{ns}	±0,14	0,46 ^{ns}	±0,05	0,20 a	±0,07	0,26 b	±0,09
CV(%)	3,6		3,59		11,2		6,3	
Camada 0,60–1,00 m								
CR	1,47 ^{ns}	±0,06	0,48 ab	±0,04	0,11 ^{ns}	±0,03	0,36 ^{ns}	±0,06
SC	1,45 ^{ns}	±0,08	0,49 a	±0,05	0,14 ^{ns}	±0,02	0,35 ^{ns}	±0,07

SN	1,55 ^{ns}	±0,09	0,44 b	±0,02	0,12 ^{ns}	±0,03	0,31 ^{ns}	±0,03
SS	1,49 ^{ns}	±0,12	0,43 b	±0,05	0,13 ^{ns}	±0,06	0,30 ^{ns}	±0,11
CV(%)	4,4		4,15		15,5		5,8	

*CR: Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree; SC: Subsolação convencional, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido do declive, interrompido 4 a 4 m; SN: Subsolação em nível, com subsolador três hastes, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco e SS: Subsolação com subsolador marca Savannah, mais camalhão, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco. CV: Coeficiente de variação; ^{ns}: diferença não significativa entre tratamentos; Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2 – Média e desvio padrão da capacidade de campo (CC), do ponto de murcha permanente (PMP) e da água disponível (AD) de um Argissolo submetido a quatro sistemas de preparo do solo em área de reforma para a implantação de povoamentos de *E. saligna*, Arroio dos Ratos-RS.

Sistema de Preparo*	CC	PMP	AD
	m ³ m ⁻³		
0,00–0,10 m			
CR	0,18 a ±0,03	0,08 a ±0,01	0,10 a ±0,03
SC	0,18 a ±0,05	0,07 a ±0,01	0,11 a ±0,05
SN	0,17 a ±0,05	0,07 a ±0,01	0,10 a ±0,04
SS	0,19 a ±0,03	0,07 a ±0,01	0,12 a ±0,03
0,10–0,20 m			
CR	0,22 a ±0,07	0,13 a ±0,06	0,09 a ±0,03
SC	0,16 a ±0,01	0,09 ba ±0,01	0,07 a ±0,01
SN	0,15 a ±0,02	0,07 b ±0,01	0,08 a ±0,01
SS	0,17 a ±0,02	0,07 b ±0,0	0,10 a ±0,02
0,20–0,30 m			
CR	0,23 a ±0,10	0,13 a ±0,06	0,10 a ±0,04
SC	0,18 a ±0,03	0,11 a ±0,02	0,07 a ±0,02
SN	0,18 a ±0,04	0,11 a ±0,03	0,07 a ±0,03
SS	0,16 a ±0,02	0,09 a ±0,0	0,07 a ±0,02
0,30–0,60 m			
CR	0,35 a ±0,04	0,22 a ±0,02	0,13 a ±0,03
SC	0,30 ab ±0,04	0,19 a ±0,04	0,11 a ±0,02
SN	0,30 ab ±0,06	0,18 a ±0,04	0,11 a ±0,02
SS	0,24 b ±0,08	0,11 b ±0,02	0,13 a ±0,06
0,60–1,00 m			
CR	0,35 a ±0,06	0,23 a ±0,04	0,13 a ±0,02
SC	0,33 a ±0,05	0,23 a ±0,04	0,10 a ±0,02
SN	0,30 a ±0,04	0,20 a ±0,03	0,09 a ±0,03
SS	0,29 a ±0,10	0,19 a ±0,07	0,09 a ±0,03

* CR: Coveamento mecânico com cabeçote coveador marca Rotree; SC: Subsolação convencional, com subsolador três hastas, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido do declive, interrompido 3 a 4 m; SN: Subsolação em nível, com subsolador três hastas, marca DMB, com trator de esteira, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco e SS: Subsolação com subsolador marca Savannah, mais camalhão, realizado no sentido transversal ao declive, com rebaixador de toco. Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade de erro.

ANEXO

ANEXO A- Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto (PVAal)**A) DESCRIÇÃO GERAL**

PERFIL BL1-T1

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto (PVAal)

LOCALIZAÇÃO – Município de Arroio dos Ratos. Perfil descrito em trincheira.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Suíte Intrusiva Dom Feliciano - Litofácies Serra do Herval: Sienogranito.

RELEVO LOCAL – ondulado

DRENAGEM – bem drenado

USO ATUAL – floresta de Eucalipto

DESCRITO E COLETADO POR – Alberto Vasconcellos Inda

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-20 cm, bruno (7.5 YR 4/3, úmido); franco-argilo-arenosa cascalhenta; transição gradual e plana.
- Bt 20-49 cm, bruno-avermelhado (5 YR 5/4, úmido); argila muito cascalhenta; transição gradual e plana.
- C 49-63 cm, vermelho (2.5 YR 4/6, úmido); argila cascalhenta; transição clara e irregular.

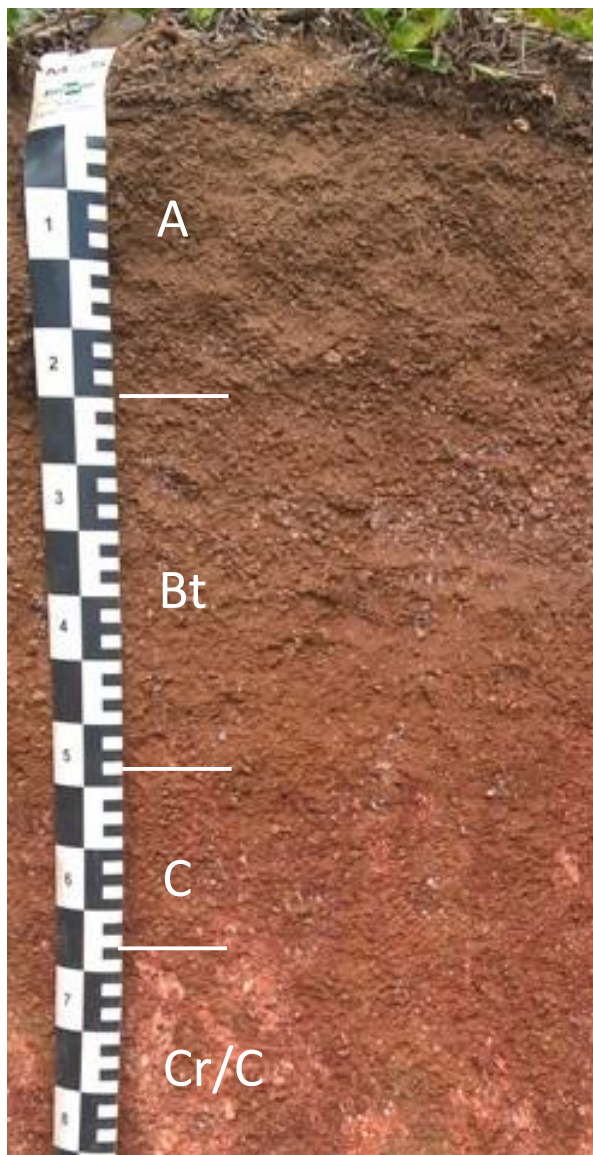


Figura 1. Foto representativa do Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto (PVAal) descrito no perfil BL1-T1.

A) DESCRIÇÃO GERAL**PERFIL BL2-T2**

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico abrupício (PVAa)

LOCALIZAÇÃO – Município de Arroio dos Ratos. Perfil descrito em trincheira.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Suíte Intrusiva Dom Feliciano - Litofácies Serra do Herval: Sienogranito.

RELEVO LOCAL – ondulado

DRENAGEM – bem drenado

USO ATUAL – floresta de Eucalipto

DESCRITO E COLETADO POR – Alberto Vasconcellos Inda

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1 0-17 cm, bruno escuro (7.5 YR 3/2, úmido); franco-arenosa cascalhenta; transição gradual e plana.
- A2 17-30 cm, bruno (7.5 YR 4/3, úmido); franco-argilo-arenosa cascalhenta; transição clara e plana.
- Bt 30-52 cm, vermelho-amarelado (5 YR 5/6, úmido); argila muito cascalhenta; transição clara e plana.
- C 52-70⁺ cm, vermelho (2.5 YR 4/6, úmido); argila muito cascalhenta.



Figura 2. Foto representativa do Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico abrupto (PVAa) descrito no perfil BL2-T2.

Quadro 2. Análises químicas e físicas do Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico abrupto (PVAa) - Perfil BL2-T2.

Horizonte		Frações da amostra total, %			Composição granulométrica, %				Argila natural %	Grau de floculação %	Relação silte/argila	Carbono orgânico %	Nitrogênio %	Relação C/N
Símbolo	Prof. cm	Calhau >20mm	Cascalho 20-2mm	Terra fina <2mm	Areia grossa 2-0,2mm	Areia fina 0,2-0,05mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002						
A1	00-17	0	31	69	48	9	12	31	19	39	0.39	1.70	0.12	14
A2	17-30	0	49	51	49	6	11	34	3	91	0.32	1.30	0.11	12
Bt	30-52	0	61	39	15	4	8	73	3	96	0.11	0.98	0.11	9
C	52-70+	0	45	55	12	3	20	65	1	98	0.31	0.32	0.05	6

Horizonte		pH		Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	P mg g ⁻¹	S meq 100 g ⁻¹	T meq 100 g ⁻¹	V %	S-Al ³⁺ %
Símbolo	Prof. cm	H ₂ O	KCl												
A1	00-17	4.3	3.8	3.2	0.8	0.4	0.02	0.15	7.1	10.3	7.7	1.4	11.7	12	70
A2	17-30	4.2	4.0	3.2	0.3	0.2	0.02	0.14	8.2	11.4	5.2	0.7	12.1	6	82
Bt	30-52	4.5	4.0	4.5	0.4	0.2	0.03	0.15	6.2	10.7	5.2	0.8	11.5	7	85
C	52-70+	4.5	4.1	3.1	0.4	0.2	0.04	0.08	6.9	10.0	4.0	0.7	10.7	7	82

A) DESCRIÇÃO GERAL**PERFIL BL2-T3**

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto (PVAal)

LOCALIZAÇÃO – Município de Arroio dos Ratos. Perfil descrito em trincheira.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Suíte Intrusiva Dom Feliciano - Litofácies Serra do Herval: Sienogranito.

RELEVO LOCAL – ondulado

DRENAGEM – bem drenado

USO ATUAL – floresta de Eucalipto

DESCRITO E COLETADO POR – Alberto Vasconcellos Inda

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1 0-14 cm, bruno (7.5 YR 4/3, úmido); franco-argilo-arenosa cascalhenta; transição gradual e plana.
- A2 14-32 cm, cinzento-avermelhado-escuro (5 YR 4/2, úmido); franco-argilo-arenosa muito cascalhenta; transição clara e plana.
- Bt1 32-42 cm, bruno-avermelhado (5 YR 4/4, úmido); argila muito cascalhenta; transição clara e plana.
- Bt2 42-60⁺ cm, vermelho-amarelado (5 YR 5/6, úmido); argila muito cascalhenta.

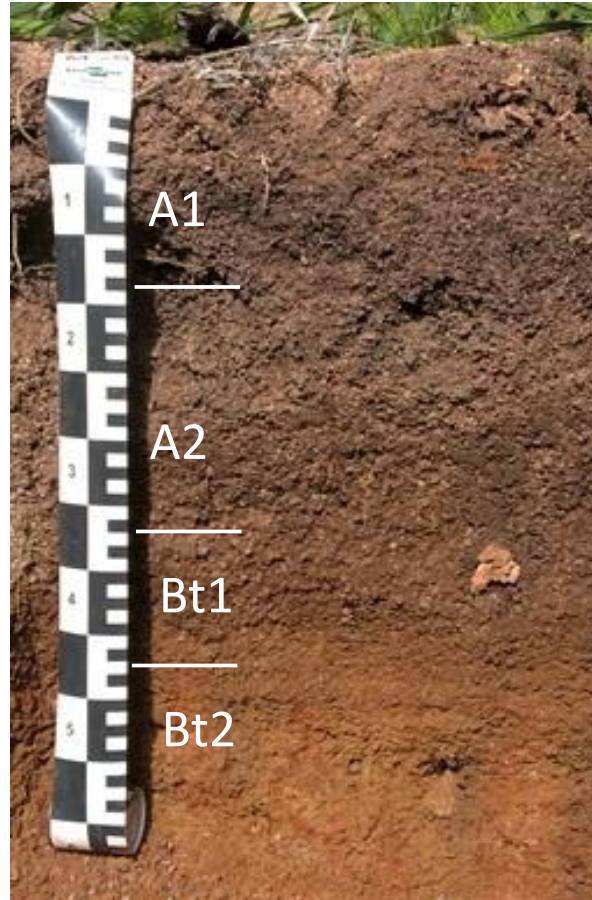


Figura 3. Foto representativa do Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupção (PVAal) descrito no perfil BL2-T3.

Quadro 3. Análises químicas e físicas do Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto (PVAal) - Perfil BL2-T3.

Horizonte		Frações da amostra total, %			Composição granulométrica, %				Argila natural %	Grau de floculação %	Relação silte/argila	Carbono orgânico %	Nitrogênio %	Relação C/N
Símbolo	Prof. cm	Calhau >20mm	Cascalho 20-2mm	Terra fina <2mm	Areia grossa 2-0,2mm	Areia fina 0,2-0,05mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002						
A1	00-14	0	32	68	48	9	9	34	15	56	0.26	2.90	0.18	16
A2	14-32	0	53	47	49	7	13	31	9	71	0.42	1.30	0.11	12
Bt1	32-42	0	63	37	21	5	9	65	1	98	0.14	1.30	0.11	12
Bt2	42-60+	0	57	43	18	3	16	63	3	95	0.25	0.60	0.08	8

Horizonte		pH		Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	P	S	T	V	S-Al ³⁺
Símbolo	Prof.	H ₂ O	KCl	meq 100 g ⁻¹							mg g ⁻¹	meq 100 g ⁻¹	meq 100 g ⁻¹	%	%
	cm														
A1	00-14	4.4	3.8	2.2	2.7	1.0	0.03	0.24	9.0	11.2	6.7	4.0	15.2	26	35
A2	14-32	4.0	3.8	3.2	0.5	0.2	0.01	0.18	9.3	12.5	4.5	0.9	13.4	7	78
Bt1	32-42	4.0	3.8	5.2	0.5	0.4	0.02	0.20	12.6	17.8	5.0	1.1	18.9	6	83
Bt2	42-60+	4.3	3.9	4.2	0.4	0.3	0.02	0.18	8.7	12.9	4.0	0.9	13.8	7	82