

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

**VARIAÇÃO TEMPORAL DE PROPRIEDADES
FÍSICAS DO SOLO E DO CRESCIMENTO DE
EUCALIPTO EM DIFERENTES SISTEMAS DE
PREPARO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Samara Pozzan da Rocha

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**VARIAÇÃO TEMPORAL DE PROPRIEDADES FÍSICAS DO
SOLO E DO CRESCIMENTO DE EUCALIPTO EM
DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO**

Samara Pozzan da Rocha

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

Orientador: Dalvan José Reinert

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

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

**VARIAÇÃO TEMPORAL DE PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E
DO CRESCIMENTO DE EUCALIPTO EM DIFERENTES SISTEMAS DE
PREPARO**

elaborada por
Samara Pozzan da Rocha

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dalvan José Reinert, Pós-Dr.
(Presidente/Orientador)

Leticia Sequinatto, Pós-Dr. (Udesc)

Ana Paula Moreira Rovedder, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 20 de Fevereiro de 2014.

À Deus e à minha família,
dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela proteção, por iluminar meus caminhos, guiar-me para as escolhas certas e por me proporcionar muitas oportunidades gratificantes durante minha vida.

Agradeço em especial a minha família por confiar em minha capacidade, dar-me incentivo, amor, ensinamentos, persistência e, principalmente, por estar sempre ao meu lado e fazer-me muito feliz.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Maria e ao programa de pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF) por proporcionar a realização do meu mestrado.

Agradeço ao CNPq pela bolsa que tornou possível a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os professores pelos conhecimentos oferecidos, mas principalmente ao professor e orientador Dalvan José Reinert e ao professor e coorientador Frederico Dimas Fleig, pela oportunidade, confiança, ensinamentos e ajuda. Agradeço também ao professor Saulo Jorge Téo pelo incentivo, conhecimento e influência, o que foi importante para a minha inserção no mestrado.

Agradeço à FEPAGRO pela disponibilização da área para a realização da presente pesquisa.

Agradeço todos os amigos de laboratório pela ajuda, troca de conhecimento e companheirismo, especialmente à Juliana Prevedello, Eduardo Saldanha, Paulo Ivonir Gubiani, Flávio Fontinelli, Breno Bevilaqua Heinz, Júlio Soares, Nívea Ledur, Maísa Zardin, Denise Szymczak, André da Costa, Bernardo da Silva, Marta Sandra Drescher, Elói Paulus, Rafael Goulart, Adriano Gonçalves e Miriam Rodrigues.

Agradeço as secretárias do PPGEF, Cerlene Machado (Tita) e a Rone de David pela ajuda, mas principalmente pela amizade e conselhos.

Agradeço ao professor Leandro Souza da Silva e ao laboratorista Alex por emprestar o laboratório de fertilidade do solo, para que fosse possível a realização da análise de carbono orgânico do solo, e agradeço também ao Rogério Piccin pela ajuda na realização desta análise. Agradeço ao senhor Neri Martins pela ajuda nos trabalhos de campo.

"Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis."

Bertolt Brecht

RESUMO

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

VARIAÇÃO TEMPORAL DE PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E DO CRESCIMENTO DE EUCALIPTO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO

AUTORA: SAMARA POZZAN DA ROCHA
ORIENTADOR: DALVAN JOSÉ REINERT

Data e local de defesa: Santa Maria, 20 de Fevereiro de 2014.

O objetivo do estudo foi verificar, ao longo do tempo, as alterações nas propriedades físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo e no crescimento de *Eucalyptus grandis*, cultivado em diferentes métodos de preparo do solo. O experimento foi implantado na área experimental pertencente à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), situada em Santa Maria - RS. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com três repetições e quatro tratamentos, sendo eles: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER). Para verificar a variação das propriedades físicas do solo, utilizaram-se dados de amostragens de solo obtidos antes da aplicação dos tratamentos e três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos. A avaliação do crescimento foi feita aos 3, 6, 9, 12, 74 e 81 meses de idade do povoamento. As propriedades físicas porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo foram obtidas através de amostras coletadas na linha e na entrelinha de plantio, nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 m. A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada até 0,50 m de profundidade do solo, a cada 0,20 m de distância perpendicular a linha de plantio. A umidade no momento da coleta dos dados de RP foi determinada nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m. A distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água e a matéria orgânica do solo foram avaliadas na profundidade de 0-0,05 m. Os parâmetros de planta avaliados foram: a distribuição do sistema radicular e o crescimento, sendo este obtido pela mensuração da altura e do diâmetro das árvores, do volume, da área basal e da sobrevivência das árvores. A substituição de campo nativo por plantio de *Eucalyptus grandis*, cultivado em diferentes métodos de preparo, não degradou a qualidade estrutural do solo ao longo do tempo. Os efeitos da escarificação, ainda evidenciados aos doze meses após a aplicação dos tratamentos deixaram de existir após setenta e dois meses, indicando uma prévia reconsolidação do solo. O preparo do solo proporcionou melhoria nas propriedades físicas do solo para o crescimento inicial do *Eucalyptus grandis*, entretanto, com o passar do tempo, o crescimento das árvores tornou-se homogêneo entre os tratamentos. O efeito do preparo do solo no sistema radicular na profundidade avaliada foi mais pronunciado aos oito meses de idade das plantas.

Palavras-chave: Qualidade do solo. Produtividade de eucalipto. Sustentabilidade florestal.

ABSTRACT

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

TEMPORAL VARIATION OF SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND GROWTH OF EUCALYPTUS UNDER DIFFERENT SOIL TILLAGE METHODS

AUTHOR: SAMARA POZZAN DA ROCHA

ADVISOR: DALVAN JOSÉ REINERT

Date and place of the defense: Santa Maria, February 20, 2014.

This study aimed at verifying, over time, the alterations in the physical properties of a Red-Yellow Ultisol and in the growth of *Eucalyptus grandis*, cultivated with the use of different methods of soil preparation. The experiment was carried out in the experimental area that belongs to the State Foundation for Agricultural Research (FEPAGRO), in Santa Maria, RS. The experimental design consisted of a randomized block design with three replications and four treatments, namely: manual tillage (CM), chisel plow (Esc), chisel plow with harrows (EG) and rotary hoe (ER). In order to ascertain the variation of the physical properties of the soil, sampling data of the soil obtained prior to the application of the treatments as well as three, twelve and seventy-two months after the treatments were used. Growth assessment was carried out at 3, 6, 9, 12, 74 and 81 months of stand age. The physical properties total porosity, macroporosity, microporosity and bulk density were obtained through samples collected in row and inter-row seeding, at depths 0.00-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30; 0.30-0.40 m. Soil resistance to penetration (RP) was determined up to 0.50 m of soil depth, each 0.20 m perpendicularly distant from row seeding. Humidity at the moment of data collection of RP was determined at depths 0.00-0,10; 0.10-0.20; 0.20-0.30; 0.30-0.40 and 0.40-0.50 m. Size distribution of water-stable aggregates and of organic matter of soil were assessed at depth 0.05 m. The plant parameters evaluated were: the root distribution and growth, which is obtained by measuring the height and diameter of trees, volume, basal area and tree survival. The replacement of native grasses by planting *Eucalyptus grandis*, cultivated with the use of different methods of soil preparation, did not degrade the structural quality of the soil over time. The effects of Esc, still evident at twelve months after the treatments ceased to exist seventy-two months, indicating a prior soil reconsolidation. Soil preparation provided the improvement in the physical properties of the soil for the initial growth of *Eucalyptus grandis*, however, with the passage of time, the growth of trees became homogeneous among treatments. The effect of tillage on root systems, evaluated in depth, was more pronounced at eight months old plants.

Keywords: Soil quality. Eucalyptus productivity. Forest sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Imagem de localização da área de estudo (A).....	36
Figura 2 - Croqui da área de estudo e os respectivos tratamentos aplicados.....	40
Figura 3 - Ponto de coleta de solo na entrelinha do Argissolo, na época 4, em Santa Maria, RS.....	42
Figura 4 - a) análise de resistência à penetração do solo; b) posições de coleta da resistência à penetração do solo (0,20; 0,40 e 0,60 m de cada lado da árvore).....	46
Figura 5 - Etapas da análise da distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água pelo Método de Kemper e Chepil (1965).....	47
Figura 6 - Umidade gravimétrica do solo, no momento das medições de resistência à penetração do solo, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.....	73
Figura 7 - Resistência do solo à penetração das raízes nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), nas épocas 2, 3 e 4, em Santa Maria, RS.....	77
Figura 8 - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água em Argissolo Vermelho-Amarelo, nas épocas 1, 2, 3 e 4, em Santa Maria, RS.....	83
Figura 9 - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água, na linha e na entrelinha de plantio da época 2, em Santa Maria, RS.....	84
Figura 10 - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água, na linha e na entrelinha de plantio da época 3, em Santa Maria, RS.....	85
Figura 11 - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água, na linha e na entrelinha de plantio da época 4, em Santa Maria, RS.....	85
Figura 12 - Relação hipsométrica do modelo 1 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 12 meses.....	91
Figura 13 - Relação hipsométrica do modelo 2 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 12 meses ⁸	91
Figura 14 - Relação hipsométrica do modelo 3 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 12 meses ⁹	92
Figura 15 - Relação hipsométrica do modelo 4 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 12 meses.....	92
Figura 16 - Relação hipsométrica do modelo 1 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 74 meses.....	93
Figura 17 - Relação hipsométrica do modelo 2 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 74 meses.....	93
Figura 18 - Relação hipsométrica do modelo 3 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 74 meses.....	94

Figura 19 - Relação hipsométrica do modelo 4 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 74 meses.	94
Figura 20 - Relação hipsométrica de <i>Eucalyptus grandis</i> aos 12 meses após o plantio, em Santa Maria, RS.	96
Figura 21 - Relação hipsométrica de <i>Eucalyptus grandis</i> aos 74 meses após o plantio, em Santa Maria, RS.	98
Figura 22 - Distribuição do sistema radicular de <i>Eucalyptus grandis</i> no perfil, no tratamento CM aos 08 e 74 meses após o plantio, em Santa Maria, RS.	100
Figura 23 - Distribuição do sistema radicular de <i>Eucalyptus grandis</i> no perfil ¹² , no tratamento Esc aos 08 e 74 meses após o plantio, em Santa Maria, RS.	100
Figura 24 - Distribuição do sistema radicular de <i>Eucalyptus grandis</i> no perfil no tratamento EG niveladora aos 08 e 74 meses após o plantio, em Santa Maria, RS.	101
Figura 25 - Distribuição do sistema radicular de <i>Eucalyptus grandis</i> no perfil ¹⁴ no tratamento ER aos 08 e 74 meses, em Santa Maria, RS.	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição do tamanho das partículas do Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico, no município de Santa Maria, RS.	38
Tabela 2 - Atributos químicos* do Argissolo, antes da aplicação dos tratamentos, nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, no município de Santa Maria, RS.....	39
Tabela 3 - Modelos de relação hipsométrica ajustados para <i>Eucalyptus grandis</i> , em Santa Maria, RS.	50
Tabela 4 - Matéria orgânica do solo (%) na linha de plantio para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), nas épocas 1, 2, 3 e 4, em Santa Maria, RS.....	54
Tabela 5 - Matéria orgânica do solo (%) na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.....	55
Tabela 6 - Densidade de partículas do solo para os tratamentos coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.	56
Tabela 7 - Densidade do solo (g cm^{-3}) na linha de plantio para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS. ...	57
Tabela 8 - Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na linha de plantio para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.	60
Tabela 9 - Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na linha de plantio para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.	63
Tabela 10 - Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na linha de plantio para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), nas épocas 1, 2, 3 e 4, em Santa Maria, RS.....	64
Tabela 11 - Densidade do solo (g cm^{-3}) nas épocas 2, 3 e 4, na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.	69
Tabela 12 - Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.....	70
Tabela 13 - Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.....	71

Tabela 14 - Porosidade total do solo ($m^3 m^{-3}$) nas épocas 2, 3 e 4, na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.....	72
Tabela 15 - Resistência à penetração das raízes (MPa) para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS...	75
Tabela 16 - Diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), nas épocas 1, 2, 3 e 4, em Santa Maria, RS.	79
Tabela 17 - Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS...	81
Tabela 18 - Diâmetro a 10 cm de altura, diâmetro à altura do peito, altura total e sobrevivência de <i>Eucalyptus grandis</i> , nos métodos de preparo: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS...	87
Tabela 19 - Área basal por hectare, volume por árvore, volume total por hectare, volume comercial por árvore até a altura com diâmetro com casca de 8,0 cm (V_8) e V_8 total por hectare, do povoamento de <i>Eucalyptus grandis</i> , em Santa Maria, RS.	89
Tabela 20 - Modelos matemáticos ajustados para <i>Eucalyptus grandis</i> , em Santa Maria, RS.....	90
Tabela 21 - Análise de covariância para o modelo $h = b_0 + b_1 * DAP$ para <i>Eucalyptus grandis</i> com 12 meses de idade, nos tratamentos coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS...	95
Tabela 22 - Análise de covariância para o modelo $h = b_0 + b_1 * DAP$ para <i>Eucalyptus grandis</i> com 12 meses de idade, nos tratamentos coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS...	96
Tabela 23 - Análise de covariância para o modelo $h = b_0 + b_1 \ln(DAP)$ para <i>Eucalyptus grandis</i> com 74 meses de idade, nos tratamentos coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS...	97
Tabela 24 - Análise de covariância para o modelo $h = b_0 + b_1 \ln(DAP)$ para <i>Eucalyptus grandis</i> com 74 meses de idade, nos tratamentos coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS...	98
Tabela 25 - Correlação de Pearson e significância para diâmetro a 10 cm de altura (d_{10}), diâmetro à altura do peito (DAP), altura (h), área basal (G), densidade do solo (ρ), macroporosidade (macro), microporosidade (micro), porosidade total (Pt) e matéria orgânica do solo (MOS), para as condições 1 e 2, em Santa Maria, RS.	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
MOS	Matéria Orgânica do solo
Cfa	Clima subtropical úmido, sem estiagens
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
CAP	Circunferência à Altura do Peito
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
CM	Coveamento manual
Esc	Escarificado
EG	Escarificado mais grade niveladora
ER	Enxada rotativa
RP	Resistência à penetração do solo
DMG	Diâmetro Médio Geométrico
DMP	Diâmetro Médio Ponderado

LISTA DE SÍMBOLOS

$\%AGR_i$	Percentagem de agregados por intervalo de classe de tamanho (%)
$mAGR_i$	Massa de agregados em cada classe i , menos areias (g)
$\sum_{i=1}^n AGR_i$	Massa total de agregados, menos areias (g)
c_i	Valor médio da classe de agregados i (mm)
MA_i	Massa de agregados da classe i (g)
$S\%$	Sobrevivência (%)
n_i	Número de árvores vivas na parcela no momento da medição
Dp	Densidade de partículas do solo ($g\ cm^{-3}$)
Mac	Macroporosidade ($m^3\ m^{-3}$)
Mic	Microporosidade ($m^3\ m^{-3}$)
Pt	Porosidade total ($m^3\ m^{-3}$)
Mbs	Massa do balão volumétrico contendo o solo (g)
Mb	Massa do balão volumétrico (g)
$Mbsa$	Massa do balão volumétrico contendo solo mais álcool (g)
Da	Densidade do álcool ($g\ cm^{-3}$)
Ds	Densidade do solo ($g\ cm^{-3}$)
Pt	Porosidade total ($m^3\ m^{-3}$)
a	Peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm (6 kPa) de coluna de água (g)
b	Peso da amostra seca a 105-110°C (g)
c	Volume do cilindro (cm^3)
d	Volume do anel ou cilindro (cm^3)
π	$\pi = 3,1416$
G_i	Área basal por hectare (m^2/ha)
g_i	Área transversal (m^2)
V_i	Volume total (m^3)
h_i	Altura das árvores da unidade experimental (m)
R^2	Coefficiente de determinação
$SQ_{REG.}$	Soma de quadrados da regressão
SQ_{TOTAL}	Soma de quadrados total
b_0	Intercepto
b_1	Coefficiente angular
r	Coefficiente de correlação de Pearson

LISTA DE ANEXOS

Anexo A - Precipitação em Santa Maria, Rio Grande do Sul, nos anos de 2006 e 2007.	135
Anexo B - Precipitação em Santa Maria, Rio Grande do Sul, nos anos de 2012 e 2013.	136
Anexo C - Distribuição do sistema radicular pelo método do perfil descrito por Böhm (1976) aos 08 meses de idade do povoamento.	137

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para densidade de partículas.....	120
Apêndice B - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (Pt) do solo, nas épocas** 1, 2, 3 e 4, para os métodos de preparo do solo: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.	121
Apêndice C - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (Pt) do solo, na linha e entrelinha de plantio, para os métodos de preparo do solo: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, na época 2**, em Santa Maria, RS.	122
Apêndice D - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (Pt) do solo, na linha e entrelinha de plantio, para os métodos de preparo do solo: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, na época 3**, em Santa Maria, RS.	123
Apêndice E - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (Pt) do solo, na linha e entrelinha, para os métodos de preparo do solo: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, na época 4, em Santa Maria, RS.	124
Apêndice F - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para resistência à penetração das raízes, nas épocas** 2, 3 e 4, para os métodos de preparo do solo: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.	125
Apêndice G - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e matéria orgânica do solo (MOS), nas épocas* 1, 2, 3, e 4, nos tratamentos: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.	126
Apêndice H - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e matéria orgânica do solo (MOS), na linha e na entrelinha de plantio, nas épocas** 2, 3 e 4, nos tratamentos: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.	127
Apêndice I - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%), nas épocas 1, 2, 3 e 4, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.	128

Apêndice J - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%) na época 2, na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.	129
Apêndice K - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%) na época 3, na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.	130
Apêndice L - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%) na época 4, na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.	131
Apêndice M - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para a distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%) nas classes de 8,00-4,76, 4,76-2,00, 2,00-1,00, 1,00-0,25 e < 0,25 mm, nas épocas** 1, 2, 3 e 4, nos tratamentos: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.	132
Apêndice N - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para a distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%) nas classes de 8,00-4,76, 4,76-2,00, 2,00-1,00, 1,00-0,25 e < 0,25 mm, na linha e na entrelinha de plantio, nas épocas** 2, 3 e 4, nos tratamentos: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.....	133
Apêndice O - Distribuição do sistema radicular pelo método do perfil descrito por Böhm (1976) aos 74 meses de idade do povoamento	134

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 HIPÓTESES	21
3 OBJETIVOS	22
3.1 Objetivo geral	22
3.2 Objetivos específicos	22
4 REVISÃO DE LITERATURA	23
4.1 Caracterização da espécie florestal	23
4.2 Propriedades físicas e qualidade do solo	24
4.3 Métodos de preparo e seus efeitos nas propriedades físicas do solo	30
4.4 Efeito das propriedades físicas do solo no crescimento florestal	33
5 MATERIAIS E MÉTODOS	36
5.1 Caracterização da área do estudo	36
5.1.1 Topografia	37
5.1.2 Clima	37
5.1.3 Vegetação	37
5.1.4 Solo	38
5.2 Caracterização do experimento	39
5.3 Coleta e análise de solo	41
5.3.1 Determinações	43
5.3.1.1 Matéria orgânica do solo	43
5.3.1.2 Densidade de partículas, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo	43
5.3.1.3 Resistência mecânica do solo à penetração das raízes	45
5.3.1.4 Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água	46
5.4 Avaliação do crescimento do povoamento de <i>Eucalyptus grandis</i>	48
5.4.1 Determinações	48
5.4.1.1 Área basal por hectare	48
5.4.1.2 Volume total e comercial	49
5.4.1.3 Relação hipsométrica	50
5.4.1.4 Sobrevivência das árvores	51
5.4.1.5 Distribuição do sistema radicular	51
5.5 Correlação entre propriedades do solo e crescimento do <i>Eucalyptus grandis</i>	52
5.6 Análise estatística	53
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
6.1 Propriedades físicas e matéria orgânica do solo	54
6.1.1 Matéria orgânica do solo	54
6.1.2 Propriedades físicas do solo	56
6.1.2.1 Densidade de partículas, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo	56
6.1.2.2 Resistência mecânica do solo à penetração das raízes	73
6.1.2.3 Distribuição do tamanho de agregados estáveis em água	78
6.2 Avaliação do crescimento do povoamento de <i>Eucalyptus grandis</i>	86
6.2.1 Avaliações dendrométricas do <i>Eucalyptus grandis</i>	86
6.2.2 Avaliação do sistema radicular do <i>Eucalyptus grandis</i>	99
6.3 Correlação entre propriedades do solo e variáveis dendrométricas do <i>Eucalyptus grandis</i>	102

CONCLUSÕES	106
REFERÊNCIAS	107
APÊNDICES	120
ANEXOS	135

1 INTRODUÇÃO

A demanda por produtos de origem florestal tem aumentado nos últimos anos, o que exigiu o plantio de mais áreas com espécies arbóreas comerciais. De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2013), no período de 2005 a 2011 ocorreu um crescimento acumulado de áreas com plantios florestais de 27,9%. Em 2012, a área total de plantio com eucalipto e pínus no Brasil foi 6,66 milhões de hectares, sendo que os plantios de eucalipto representaram 76,6% desse total.

Dentre as espécies do gênero *Eucalyptus*, destaca-se o *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden que é uma das espécies mais plantadas no mundo, apresentando uma das madeiras mais versáteis e indicadas para uso múltiplo (LOPES, 2003). Conforme Silva (2002), o *Eucalyptus grandis* apresenta altas taxas de produtividade em florestas plantadas e boa adaptação em grande parte do território brasileiro. Há várias décadas esta espécie florestal vem sendo cultivada intensivamente no Brasil, principalmente para atender às demandas do setor de celulose e papel, painéis aglomerados, chapas duras, carvão vegetal para uso metalúrgico e siderúrgico, assim como para o setor moveleiro.

Para otimizar a produção das florestas e atender a demanda por produtos de origem florestal, é imprescindível considerar a qualidade do solo. O manejo inadequado do solo pode reduzir sua qualidade, afetando a produtividade e a sustentabilidade das florestas. Neste contexto, é fundamental o conhecimento das alterações no ambiente edáfico, causadas pelos diferentes métodos de preparo do solo, e da resposta das árvores a estas alterações, ao longo dos anos.

A qualidade do solo refere-se ao equilíbrio entre as propriedades químicas, físicas e biológicas (ZILLI et al., 2003), e indica as potencialidades e limitações do solo para determinado uso. A avaliação da qualidade do solo tem dimensão temporal, pois o intervalo entre medições para que o indicador avalie mudanças depende do tempo necessário para que um dado sistema de manejo cause alterações quantificáveis (REICHERT et al., 2003).

As modificações nas propriedades do solo, devido ao seu uso e manejo, podem ser benéficas ou não, sendo que as propriedades físicas são as que mais se alteram de acordo com o uso do solo (CONCEIÇÃO, 2002). Reichert et al. (2009)

complementam que o estudo das propriedades físicas do solo ao longo do tempo permite quantificar não só a magnitude, mas também a duração das alterações causadas pelos diferentes sistemas de manejo do solo. Por serem parâmetros sensíveis, algumas propriedades físicas são importantes para estabelecer se houve degradação ou melhoria da qualidade do solo, em relação a um sistema de manejo determinado.

Nesse sentido, o conhecimento da qualidade edáfica permite manejar o solo para que funcione de forma ótima no presente e que não seja degradado para o uso futuro. Por meio do monitoramento das mudanças na qualidade do solo, pode-se determinar se um conjunto de práticas de manejo do solo é sustentável (TÓTOLA; CHAER, 2002).

As informações referentes às alterações nas propriedades do solo e ao comportamento do crescimento das espécies florestais auxiliam no planejamento e na tomada de decisões por parte das empresas do setor florestal. Como reportam Gonçalves e Stape (2002), a compreensão da interação entre o meio físico e o preparo do solo na produtividade florestal é necessária para a interpretação dos resultados experimentais e posterior tomada de decisões silviculturais, nas diferentes escalas espaciais e temporais.

Por meio de um conhecimento prévio das relações existentes entre as propriedades edáficas de um sítio com o crescimento das árvores, é possível recomendar a intensidade de práticas silviculturais, o regime de manejo mais apropriado, as espécies adequadas para cada sítio e a previsão da produção por ocasião da exploração florestal. Além disso, permite avaliar a maior ou menor adequabilidade do solo para cada atividade, dentro de um plano anteriormente sugerido para a área (GONÇALVES et al., 1990).

Dessa forma, como cita Brum (1979), o conhecimento das relações entre solo e planta permite aumentar a produção florestal de uma região, pela melhoria das condições de desenvolvimento ou concentrar os plantios em áreas que apresentem condições edáficas propícias ao desenvolvimento de uma determinada espécie.

Diante do exposto, tornam-se importantes os estudos de longa duração que verifiquem a duração e a magnitude das alterações causadas pelos diferentes sistemas de preparo no solo e no crescimento das espécies florestais, visando a produção sustentável das florestas.

2 HIPÓTESES

- O plantio de *Eucalyptus grandis* em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes métodos de preparo, em substituição ao campo nativo, não degrada a qualidade física do solo no tempo;
- Os diferentes sistemas de preparo do solo para a implantação do *Eucalyptus grandis* influencia apenas o crescimento inicial.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar as alterações nos atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e no crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, cultivado em diferentes métodos de preparo do solo, ao longo de sete anos de idade do povoamento florestal.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar as alterações nas propriedades físicas do solo ao longo do tempo, em diferentes métodos de preparo, comparando a condição do solo avaliada antes do preparo com as condições avaliadas aos três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos;
- Avaliar, ao longo do tempo, as propriedades físicas do solo na linha e na entrelinha de plantio de *Eucalyptus grandis*, cultivado em diferentes métodos de preparo do solo, utilizando dados de coleta de solo obtidos aos três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos;
- Avaliar, ao longo do tempo, o crescimento de *Eucalyptus grandis* cultivado em diferentes métodos de preparo do solo, utilizando dados obtidos de 2006 a 2007 e dados obtidos de 2012 a 2013.
- Avaliar o efeito dos sistemas de preparo do solo no sistema radicular do eucalipto, ao longo dos setenta e quatro meses de idade das árvores.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Caracterização da espécie florestal

O *Eucalyptus grandis* pertence à família Myrtaceae e é conhecido popularmente como eucalipto rosa (LORENZI et al., 2003). Esta espécie florestal ocorre naturalmente na Austrália, em áreas com altitude variando desde o nível do mar até 1100 metros de altitude (HIGA, 2003).

De acordo com Lorenzi et al. (2003), o *Eucalyptus grandis* apresenta, em média, de 20 a 40 metros de altura, tronco retilíneo, com casca pulverulenta, desprendendo-se em tiras longas, deixando aparecer em baixo uma superfície lisa de cor branca, acinzentada, esverdeada ou salmão. Os ramos do *Eucalyptus grandis* são longos e robustos, formando copa aberta ou alongada. Suas folhas adultas são lanceoladas, falcadas, verde-escuras, brilhantes, com ápice agudo e margens levemente onduladas. Esta espécie de eucalipto possui inflorescências em umbelas axilares, brancas e com pedúnculo achatado. Os frutos (cápsulas) são verde azulados, deiscentes, com valvas encurvadas.

O *Eucalyptus grandis* é considerado sensível à geadas severas e apresenta relativa resistência à deficiência hídrica. Sua madeira é considerada moderadamente leve, de baixa estabilidade, mas de elevada permeabilidade. A regeneração do *Eucalyptus grandis*, através da brotação de cepas, é considerada boa (HIGA, 2003).

O *Eucalyptus grandis* pode ser destinado ao plantio em lugares inundados e para a fixação de barrancos de rios, pelas raízes profundas que possui (LORENZI et al., 2003). Além disso, pode ser utilizado como lenha, estacas, carvão vegetal, dormentes, moirões, celulose e papel, chapas de fibra e de partículas, assim como pode ser utilizado na fabricação de casas (PEREIRA et al., 2000; HIGA, 2003). Acosta (1995) complementa que a madeira pode ser utilizada na carpintaria, caixaria (frutas, hortaliças, frangos, etc.), pálets, móveis rústicos, cabos, puxadores, marcos, escadas, molduras de móveis, brinquedos e outros.

No Brasil, o consumo de madeira provinda de reflorestamentos é crescente, especialmente em se tratando de eucalipto. Conforme ABRAF (2013), em 2012 a área com plantios de eucalipto totalizou 5.102.030 ha, representando crescimento de

4,5% frente ao indicador de 2011. Os estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia e Santa Catarina são os cinco estados com maior área plantada com eucalipto, respectivamente, em 2012.

Além de apresentar importância econômica, as florestas plantadas também possuem grande importância social, pois além de servir como matéria-prima para a indústria de base florestal, possibilita empregos diretos e indiretos. Há também uma importância ambiental, pois com o uso de madeiras providas de reflorestamentos, ocorre a redução da exploração de florestas nativas. Além disso, as florestas contribuem para o sequestro de carbono, reduzindo o efeito do aquecimento global, assim como protegem o solo contra erosão.

4.2 Propriedades físicas e qualidade do solo

Para Araújo e Monteiro (2007), a qualidade do solo pode ser definida como a capacidade deste em funcionar dentro do ecossistema de maneira que sustente a produtividade biológica, mantenha a qualidade ambiental e promova a saúde das plantas e animais, podendo ser avaliada por indicadores físicos, químicos e biológicos. Conforme Reichert et al. (2003), as propriedades físicas associadas à qualidade do solo são aquelas que permitem infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, córregos e subsuperfície, possibilitam as trocas de calor e gases com a atmosfera e as raízes das plantas, tornando possível o crescimento radicular.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2008), a textura do solo refere-se à distribuição quantitativa das classes de tamanho das partículas que compõe o solo. A textura depende das características do material que o originou e dos agentes de formação do solo e influi sobre a retenção de água, arejamento, resistência à penetração das raízes, Capacidade e Troca de Cátions (CTC), porosidade e densidade do solo, entre outros. A textura do solo pode influenciar também o crescimento das árvores, como constatado por Rigatto et al. (2004). Os autores verificaram que madeiras de *Pinus taeda* provenientes de sítios com textura mais argilosa apresentavam menores valores de densidade básica da madeira, menor teor de holocelulose e celulose, traqueídeos mais curtos, mais largos, com as

paredes mais finas e com diâmetro do lúmen maior e menor rendimento em celulose.

A estrutura do solo é um dos atributos mais importantes para avaliar a qualidade do solo, pois complementa o estudo de avaliação do arranjo entre sólidos e vazios do solo (MENDES et al., 2006). Bertoni e Lombardi Neto (2008) ressaltam que uma boa estrutura é a que apresenta porosidade que proporcione boa aeração e retenção de água para o desenvolvimento radicular das plantas, assim como possui agregados bastante densos e coesos. Martins et al. (2002) compararam plantios de *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp., *Hevea brasiliensis* e mata nativa e verificaram que esta última apresentava melhor estruturação do solo, devido a maior presença de raízes, que liberam exsudatos e elevam os teores de matéria orgânica do solo, contribuindo para a estabilização dos agregados. A ampla diversidade de espécies também contribuiu para a melhor estruturação do solo com mata nativa, pois proporciona uma camada de serrapilheira rica em nutrientes que aumenta a atividade dos organismos do solo.

Como ressalta Letey (1985), a estrutura do solo não é um fator de crescimento das plantas ou indicativo direto da qualidade do solo. No entanto, a estrutura do solo influencia parâmetros físicos que agem sobre a qualidade do solo para o bom desenvolvimento de plantas, tais como a densidade do solo, a porosidade, a permeabilidade e a resistência mecânica à penetração das raízes.

A estrutura do solo apresenta alta dinamicidade no tempo, em função do manejo do solo e da floresta (GONÇALVES; STAPE, 2002). Dessa forma, como citam Amaro Filho et al. (2008), o conhecimento da estrutura do solo, dos mecanismos de formação de agregados e dos fatores de controle, é importante para manejar a estrutura edáfica a fim de alcançar objetivos específicos no uso do solo e definir técnicas de cultivo que evitem a degradação dos agregados.

A melhora na estrutura do solo pode ser feita por meio do fornecimento contínuo de material orgânico pela serrapilheira e/ou por excreções radiculares, que são formadas por moléculas orgânicas em estágios de decomposição, o que atua na formação e estabilização dos agregados (CAMPOS et al., 1995). Para a formação do agregado é necessário que os colóides do solo floculem e que, em seguida, todos os componentes do agregado sejam estabilizados por algum agente cimentante (Hillel et al., 1980). Tisdall e Oades (1982) citam que os agentes cimentantes envolvidos na agregação do solo são classificados em: transientes

(principalmente polissacarídeos), temporários (como as raízes e hifas dos fungos, as quais estão associadas aos macroagregados) e persistentes (são os componentes aromáticos resistentes, associados com cátions metálicos polivalentes e fortemente adsorvidos a polímeros, constituindo a parte mais importante na formação de microagregados do solo). Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo também age no sentido de restaurar a estrutura edáfica (CAMPOS et al., 1995).

Em solos com estrutura adensada, a correção é mais difícil, podendo, em alguns casos, ser conseguida com o trabalho mecânico do solo ou com calagem, porque o cálcio em quantidades adequadas floclula a argila (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). A melhoria da estrutura do solo causa o aumento da permeabilidade, decréscimo na erodibilidade e redução no escoamento superficial de água e, conseqüentemente, resulta na redução na erosão hídrica (WISCHMEIER, 1966 apud MENDES et al., 2006).

A estabilidade dos agregados do solo pode ser utilizada para avaliar a qualidade estrutural do solo, pois a estabilidade da estrutura está relacionada à resistência que os agregados apresentam à influência desagregante da água e forças mecânicas (KIEHL, 1979). Para Ferreira (2010), a avaliação da estabilidade dos agregados é a avaliação da distribuição dos agregados por tamanho, considerando a elevada correlação verificada entre esses aspectos relativos à estrutura do solo.

Ferreira (2010) menciona que a importância da avaliação da distribuição dos agregados por tamanho está no fato de que o tamanho do agregado determina a sua susceptibilidade ao movimento pela água e vento e é importante na determinação das dimensões do espaço poroso em solos cultivados. Bertoni e Lombardi Neto (2008) argumentam que agregados estáveis em água permitem maior resistência à erosão e maior infiltração de água. Entretanto, agregados não estáveis tendem a desaparecer e se dispersarem. A estabilidade depende do tipo de argila, do elemento associado à argila, da natureza dos produtos de decomposição da matéria orgânica e do tipo de população microbológica do solo. Um excesso de sódio associado com argila pode causar dispersão dos agregados, mas alta proporção de hidrogênio ou cálcio é relacionada com a agregação.

Nos estudos sobre a suscetibilidade de agregados, busca-se avaliar a ação de forças responsáveis pela destruição dos agregados do solo, estando elas relacionadas ao manejo do solo, erosão ou umedecimento do solo. A análise da

estabilidade dos agregados geralmente é feita no material representativo das camadas superficiais do solo. Essas camadas tem sua estruturação influenciada, primeiramente, pela atividade biológica, razão da presença da estrutura do tipo grumosa (FERREIRA, 2010).

Lima et al. (2003) estudaram a estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo, em Capão do Leão, no Rio Grande do Sul, e constataram que o sistema de semeadura direta favoreceu a formação de agregados de maior tamanho, originando maior diâmetro médio ponderado de agregados. O sistema de plantio pré germinado proporcionou maior concentração de agregados do solo na classe de menor tamanho, com menor diâmetro médio ponderado dos agregados. Avanzi et al. (2011) avaliaram a estabilidade de agregados, em solos tropicais sob cultivo de eucalipto e vegetação nativa em Argissolos, Cambissolo, Latossolos e Plintossolo e os autores verificaram que manejo do solo adotado para o eucalipto não modificou a estabilidade dos agregados. Tanto a Floresta de eucalipto como a floresta nativa apresentou alto nível de estabilidade dos agregados.

A densidade é umas das características mais importantes da física do solo e é definida como a relação entre a massa e o volume de uma amostra de solo (SCHUMACHER et al., 2004). Como a densidade reflete o arranjo das partículas do solo (estrutura), conseqüentemente ela define as características do sistema poroso (FERREIRA, 2010). De modo geral, pode-se dizer que quanto mais elevada for a densidade do solo, mais compacto será o solo, menor o grau de estruturação, menor a porosidade e, conseqüentemente, maiores serão as restrições para o crescimento das plantas (AMARO FILHO et al., 2008).

Além da estrutura, a densidade do solo depende da composição mineralógica da fração argila, do teor de matéria orgânica, da agregação das partículas, da cobertura vegetal e da profundidade do solo (AMARO FILHO et al., 2008; FERREIRA, 2010; BICALHO, 2011). Além disso, a densidade do solo varia com o tempo (por processos naturais de adensamento) e/ou com práticas de manejo como cultivo e o trânsito de máquinas agrícolas (AMARO FILHO et al., 2008; FERREIRA, 2010).

Ferreira (2010) cita que camadas superficiais de solos com estrutura granular grumosa apresentam menores valores de densidade do solo, pela elevada porosidade dentro e entre seus agregados. Já solos com estrutura do tipo blocos ou

similar possuem valores mais elevados de densidade do solo. Com o aumento da profundidade do solo, a densidade tende a aumentar por reduzir o teor de matéria orgânica, aumentar a compactação natural do solo e também por diminuir a agregação das partículas (BICALHO, 2011).

Com relação à textura do solo, a tendência é que solos ou camadas mais arenosas apresentem valores mais elevados de densidade e solos com maior teor de argila e de matéria orgânica apresentam densidade do solo menor. Em relação à Argissolos ou afins, que apresentem horizonte B textural, o gradiente textural entre o horizonte A e B pode fazer com que o A, possuindo textura menos argilosa que o B, apresente maior densidade. Ao contrário do que se possa inferir, nesse caso, a maior densidade do horizonte A não implica menor permeabilidade e o acréscimo de argila no horizonte B não caracteriza adensamento (FERREIRA, 2010).

A importância da determinação da densidade do solo se encontra no fato de que, a partir dela, é possível: transformar percentuais de umidade gravimétrica do solo em umidade volumétrica e, conseqüentemente, calcular a lâmina de água no solo; estimar o grau de compactação do solo por meio do cálculo da porosidade e calcular a porosidade do solo quando se conhece a densidade de partículas (AMARO FILHO et al., 2008). Além disso, Mendes et al. (2006) complementam que a densidade do solo é utilizada para determinar a quantidade de água e de nutrientes que existam no perfil do solo, com base no volume e para indicar a qualidade edáfica.

Em relação à qualidade edáfica, Silva et al. (2009) analisaram o impacto de plantios florestais nos atributos de um Latossolo Vermelho-Amarelo e constataram que, em relação à floresta nativa, ocorreu um aumento na densidade dos solos nos plantios de pínus e eucalipto. Os autores verificaram que o pínus promoveu a redução mais acentuada da qualidade do solo de cerrado.

A densidade das partículas é determinada pela proporção relativa de material mineral e orgânico e suas respectivas densidades (MENDES et al., 2006). Dessa forma, como salienta Ferreira (2010), a densidade de partículas depende exclusivamente da composição das partículas sólidas do solo e é um atributo físico muito estável. Goedert et al. (2002) avaliaram um sistema de plantio direto implantado em um Latossolo-Vermelho Amarelo muito argiloso, no Distrito Federal, e averiguaram que a densidade das partículas foi levemente inferior na camada de

0,00-0,05 m, quando comparada às demais, provavelmente pela maior deposição de matéria orgânica na superfície do solo.

Para Amaro Filho et al. (2008), a importância da determinação da densidade de partículas reside nas seguintes razões: permite maior precisão no cálculo da porosidade do solo, quando se conhece a densidade do solo; é utilizada para calcular a velocidade de sedimentação das partículas em meio líquido e/ou gasoso e fornece uma aproximação da composição mineralógica do solo, como também de seu conteúdo de matéria orgânica.

A resistência do solo à penetração das raízes também é um atributo físico importante para verificar a qualidade do solo. Ferreira (2010) menciona que, qualitativamente, a resistência do solo à penetração das raízes pode ser definida como sendo a capacidade do solo suportar forças sem apresentar falhas, seja por ruptura, fragmentação ou fluxo. Quantitativamente, a resistência do solo pode ser considerada como sendo a máxima tensão que um solo pode suportar sem ocorrer falhas.

A resistência do solo depende da agregação, do conteúdo de água, da densidade do solo, da composição e arranjo do sistema poroso dos solos e tem sido utilizada para identificar camadas compactadas e mudanças nas propriedades físicas do solo associadas aos seus horizontes (FERREIRA, 2010).

A proporção de espaços ocupados pelos líquidos e gases em relação ao espaço ocupado pela massa de solo é denominada de porosidade (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008) e é usualmente classificada em macroporos e microporos. Amaro Filho et al. (2008) reportam que o conhecimento da porosidade total é importante porque permite avaliar o volume de vazios em relação ao volume total, permite estimar a lâmina de água necessária à irrigação de uma área e é necessária no cálculo de projetos de drenagem. Além disso, a porosidade do solo é um parâmetro para a avaliação da estrutura edáfica e é útil nos estudos de mecânica dos solos, influencia na infiltração, retenção de água e temperatura do solo.

A quantidade e natureza dos poros são determinadas pelo arranjo ou geometria das partículas do solo. Como as partículas variam em tamanho, forma, regularidade e tendência de expansão pela água, os poros diferem consideravelmente quanto à forma, comprimento, tortuosidade, largura e continuidade. Considerando os valores de densidade de partículas e densidade dos diferentes solos, estima-se que a porosidade total deve variar entre 0,30 a 0,70 m³

m^{-3} (FERREIRA, 2010). Bertoni e Lombardi Neto (2008) argumentam que em geral, a porosidade é maior em solos de textura mais fina, os quais necessitam de maiores cuidados para manter a aeração.

A porosidade do solo constitui-se num atributo condicionado pela estrutura e matéria orgânica do solo, assim como é bastante influenciado pelo uso e manejo do solo (FERREIRA, 2010). Estudando o efeito de métodos de preparo do solo na porosidade, Schaefer et al. (2001) observaram uma descontinuidade na macroporosidade na superfície de um Argissolo Vermelho-Amarelo nos sistemas que envolvem o uso de grade pesada, principalmente entre 0,03-0,05 m de profundidade. Os autores verificaram também que a semeadura direta proporcionou melhor conexão entre os macroporos quando comparado com os tratamentos em que ocorreu o uso da grade pesada.

4.3 Métodos de preparo e seus efeitos nas propriedades físicas do solo

As operações de preparo do solo têm a finalidade de proporcionar condições favoráveis à germinação e ao crescimento radicular das plantas (DE MARIA et al., 1999), visando o rápido crescimento das raízes, por meio do revolvimento mais ou menos localizado do solo, o que facilita a absorção de água e de nutrientes pelas plantas (GATTO et al., 2003). A melhoria das condições de crescimento radicular é atribuída ao fato de que o preparo do solo tende a inverter (arados), revolver (grades) ou desestruturar (subsoladores) as camadas do solo, de forma a diminuir a sua densidade e a resistência mecânica à penetração das raízes (GONÇALVES; STAPE, 2002). Além disso, o preparo do solo visa eliminar as plantas indesejáveis próximas das mudas, evitando competição (GATTO et al., 2003).

Dessa forma, o preparo do solo, usado de forma correta, pode aumentar os índices de produtividade florestal. Além disso, o preparo adequado do solo pode reduzir a relação custo/benefício dos recursos disponíveis, como mão-de-obra, máquinas, implementos, combustíveis e insumos. Todavia, inadequadamente usadas, as técnicas de preparo podem degradar fisicamente o solo, diminuindo seu potencial produtivo (CORRÊA et al., 2004). De Maria et al. (1999) complementam que as condições de umidade durante o preparo do solo, o teor de matéria orgânica

e argila, a profundidade de mobilização e o tipo de implemento utilizado, podem causar modificações na estrutura do solo, acarretando restrições ao crescimento das raízes.

Sob determinado sistema de preparo, as condições físicas do solo tenderão a um estado estável, o qual depende do clima e das características do solo. Dessa forma, diferentes sistemas de manejo resultarão em diferentes condições de equilíbrio físico do solo que poderão ser desfavoráveis à conservação do mesmo e à produtividade das plantas. Essas condições diferenciadas resultam dos efeitos diferentes que os sistemas de manejo exercem sobre a formação e estabilização dos agregados do solo (SILVA; MIELNICZUK, 1998).

Várias são as opções de preparo do solo e a escolha da melhor opção depende da topografia do local de implantação da floresta, dos implementos disponíveis, da época oportuna, entre outros (CORRÊA et al., 2004). A definição do preparo do solo é tanto mais complexa quanto maior a variabilidade dos fatores do meio físico e do material genético das plantas. Nestas condições, o conhecimento técnico do solo, da planta e do clima é fundamental para compreender as interações entre o seu preparo e o sítio. Tais interações ocorrem em diferentes escalas espaciais e temporais, e riscos decisórios estão sempre associados à escolha do preparo (GONÇALVES; STAPE, 2002).

O cultivo mínimo, que se baseia num preparo de solo restrito às linhas ou covas de plantio, apresenta pronunciados efeitos sobre a conservação do solo, com grande repercussão sobre a sustentabilidade da produção florestal em longo prazo. A manutenção dos resíduos culturais no solo exerce efeitos positivos sobre o estoque de nutrientes do ecossistema e, conseqüentemente, sobre a fertilidade do solo a curto e longo prazo. Além disso, a serapilheira funciona como uma camada isolante que protege o solo do efeito erosivo do impacto das gotas de chuva e reduz as perdas de água por evaporação. Ressalta-se também que o não revolvimento das camadas superficiais de solo, preserva a estrutura do solo e, conseqüentemente, sua porosidade e capilaridade (GONÇALVES, 1995).

Apesar dos benefícios de técnicas menos intensivas do solo, Gatto et al. (2003) salientam que há situações em que o preparo mais intensivo do solo é necessário. Um preparo mais intensivo do solo pode ser necessário em áreas nas quais várias rotações já foram conduzidas com a presença de tocos das antigas árvores, restringindo ou impossibilitando o trânsito de máquinas e implementos nas

várias fases de condução da plantação, principalmente na colheita. Além disso, Camara e Klein (2005) mencionam que o não revolvimento do solo, juntamente com o tráfego de máquinas, pode acarretar alterações na estrutura que, associada à reduzida rugosidade superficial, podem ser desfavoráveis à infiltração de água, modificando a sua dinâmica nesse sistema.

Conforme Gonçalves e Stape (2002), dentre as diversas opções de preparo do solo, a subsolagem vem se consolidando na área florestal, devido aos seus efeitos benéficos sobre o solo e às suas vantagens operacionais (maior rendimento) e econômicas (menor custo). Dedecek et al. (2007) complementam que, além da subsolagem, a escarificação também se encontra entre as operações mais usadas para o estabelecimento e recuperação de plantações florestais, pois ambos os métodos de preparo do solo melhoram a sobrevivência e o crescimento das plantas, uma vez que permitem que as raízes alcancem maiores profundidades.

Segundo Reichert et al. (2007) a escarificação age no sentido de reduzir a densidade do solo e aumentar a porosidade, principalmente a macroporosidade, assim como aumenta a condutividade hidráulica e a infiltração de água. Entretanto, essa melhoria é apenas temporária, sendo que esse tempo varia entre os solos. Reichert et al. (2009) observaram que os efeitos da escarificação sobre a densidade e a resistência à penetração desapareceram depois de um ano do preparo de um Argissolo Vermelho-Amarelo. Rosa et al. (2008) constataram que os efeitos da escarificação perduraram por mais de dois anos e, após 4 anos não se encontrou mais efeito em um Latossolo Vermelho distrófico.

Outros métodos de preparo utilizados na área florestal e agrícola são a aração e a gradagem. Falleiro et al. (2003) avaliaram a influência dos métodos de preparo do solo: semeadura direta, arado de discos, arado de aivecas, grade pesada, grade pesada mais arado de discos e grade pesada com arado de aivecas, nas propriedades físicas do solo cultivado com culturas anuais. Os autores constataram que a densidade do solo foi maior na semeadura direta devido ao acomodamento natural do solo, dada à ausência de revolvimento neste método. Os menores valores de densidade, observados nos tratamentos com preparo convencional, foram justificados pelos autores pelo revolvimento do solo que tem, como uma de suas principais finalidades, aumentar a condição de porosidade. Neste estudo, a macroporosidade e a microporosidade não foram afetadas pelos diferentes sistemas de preparo.

4.4 Efeito das propriedades físicas do solo no crescimento florestal

O crescimento das plantas, nos diferentes estágios de desenvolvimento, é dependente das condições do solo e do meio ambiente (CARVALHO et al., 1999). Couto e Brito (1990) completam que os fatores biológicos como o material genético das plantas, o ataque de pragas, doenças, a microbiologia do solo (micorrizas) e a vegetação de sub bosque, também são determinantes no crescimento e na produção das espécies florestais. Entretanto, dentre os fatores que afetam a produção, maior consideração tem sido dada às características edáficas, devido à correlação entre as propriedades do solo e o crescimento das árvores (BRUM, 1979).

De acordo com Gonçalves et al. (1990), o crescimento e a produtividade dos povoamentos florestais relacionam-se mais com as propriedades físicas do que com as propriedades químicas do solo, principalmente com aquelas relacionadas com a capacidade de retenção e armazenamento de água.

Considerando as propriedades físicas do solo que são importantes no crescimento e na produção das culturas, é necessário separar fatores que afetam diretamente de fatores que afetam indiretamente o crescimento das plantas. A água, o oxigênio, a temperatura e a resistência à penetração das raízes são fatores que afetam diretamente o crescimento das culturas, dentre as quais, a água é o fator controlador dominante e os demais fatores são afetados pelo conteúdo de água (LETEY, 1985). Lima et al. (2010) também citam que a resistência mecânica à penetração (RP) destaca-se como uma das propriedades físicas de influência direta sobre o crescimento das plantas. Segundo Letey (1985), a textura, a densidade, a agregação, a estabilidade dos agregados e a distribuição e o tamanho de poros são considerados como fatores que afetam indiretamente o crescimento das plantas.

Para Carvalho et al. (1999), a estrutura do solo, a capacidade de retenção de água, a consistência, a drenagem e as reações de troca entre o sistema radicular e o complexo coloidal são diretamente dependentes da textura, a qual pode ser considerada, individualmente, como a característica que mais influencia na capacidade produtiva dos povoamentos florestais. Rigatto et al. (2005) verificaram que os solos de textura argilosa, independente da classe a que pertenciam, proporcionaram maiores produtividades de *Pinus taeda*, estudando o efeito de

atributos de um Latossolo e de um Cambissolo de textura argilosa e média sobre o crescimento das árvores, no Paraná. Os autores averiguaram que nos solos de textura argilosa as árvores superaram em, aproximadamente, 2 m a altura das árvores encontradas nos solos de textura média, na mesma idade. Resultados análogos foram encontrados por Bognola et al. (2010), os quais verificaram maior incremento médio anual de *Pinus taeda* em solos com maior teor de argila, estudando propriedades físico-hídricas de Cambissolo Húmico, nos estados de Santa Catarina e Paraná.

Em relação à densidade do solo, o aumento no valor desta propriedade física provoca maior resistência à penetração das raízes, menor velocidade de infiltração da água, redução no arejamento e alteração no fluxo de calor e de nutrientes na camada compactada. Todos estes aspectos contribuem para reduzir a produção das plantas (COSTA, 1990).

A resistência à penetração (RP) é um dos principais fatores que determinam a alongação e a proliferação do sistema radicular no perfil do solo (BENGOUGH; MULLINS, 1990), pois se há um aumento da resistência do solo na camada superficial, as raízes não conseguem desenvolver-se satisfatoriamente em profundidade no perfil (PEDROTTI et al., 2001).

Ao encontrar uma zona de impedimento, a raiz emite sinais hormonais à parte aérea que interrompe seu crescimento. Inicia-se a brotação excessiva de raízes laterais, ocupando um pequeno volume de solo, o que faz com que as plantas fiquem sujeitas à subnutrição, ao tombamento e ao déficit hídrico (PEDROTTI et al., 2001). Bengough e Mullins (1990) citam que a RP geralmente aumenta com a compactação e com a redução da umidade do solo.

Lima et al. (2010) encontraram significativa correlação negativa entre o volume de eucalipto e a RP, pesquisando os atributos físico-químicos de um Latossolo e sua relação com características dendrométricas de *Eucalyptus camaldulensis*, em Selvíria, Mato grosso do Sul.

O tamanho e a quantidade adequada de poros do solo também são fundamentais para obter um bom crescimento das florestas. Para Wolkowski (1990 apud BOGNOLA et al., 2010), um solo que possui dominância de microporosidade tem mais poros saturados, o que facilita os fluxos de massa e de difusão dos nutrientes, mas com oxigenação deficiente e com menor circulação do ar. Já um solo que apresenta macroposidade superior a ideal, tem dificuldade em formar fluxo

contínuo de água para permitir os mecanismos de movimentação dos nutrientes até a zona radicular das plantas. Assim, com um menor fluxo de ar e água no solo, o volume de solo a ser explorado pelas plantas é menor e, conseqüentemente, ocorre uma redução no crescimento do sistema radicular das plantas.

Bognola et al. (2010) observaram que o maior incremento médio anual de *Pinus taeda* ocorreu nos solos dos sítios que apresentavam maior macroporosidade e porosidade de aeração. Houve correlações positivas entre macroporosidade e porosidade de aeração e o volume das árvores, mostrando seu efeito benéfico sobre o crescimento de *Pinus taeda*. No entanto, a microporosidade e a disponibilidade de água apresentaram correlação negativa com o volume de madeira, mostrando que solos com drenagem mais lenta, que geralmente são solos com menor macroporosidade, prejudicavam o crescimento de *Pinus taeda* naquele local. Rigatto et al. (2005) verificaram que a porosidade total e a disponibilidade de água correlacionaram-se positivamente com o crescimento em altura de *Pinus taeda*. Cavichiolo et al. (2005) também encontraram correlação positiva entre porosidade total e incremento em altura, estudando o efeito do revolvimento do solo nas entrelinhas da rebrota de *Eucalyptus saligna* Smith, em São Miguel Arcanjo, São Paulo.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área do estudo

O presente estudo foi realizado na área experimental pertencente à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO FLORESTAS), localizada em Boca do Monte, distrito do município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. A área de estudo localiza-se nas coordenadas 29°68' de latitude Sul e 53°81' de longitude Oeste de Greenwich, em uma altitude média de 113 metros do nível do mar (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2013) (Figura 1).



Figura 1 - Imagem de localização da área de estudo (A).

Fonte: Google Maps Brasil (2012).

Anteriormente, a área utilizada no estudo encontrava-se em pousio a mais de vinte anos, não exibia características de degradação estrutural e havia recebido

apenas roçada mecânica esporadicamente (PREVEDELLO, 2008). As espécies predominantes na área, antes da aplicação dos tratamentos, eram: *Solanum mauritianum* (fumo-bravo), *Paspalum notatum* Fluegge (Grama forquilha), *Andropogon lateralis* (Capim caninha), *Axonopus pressus* (Grama missioneira) e *Aristida pallens* Cav. (barba-de-bode), segundo Prevedello (2012).

5.1.1 Topografia

De acordo com Sartori (1979), a região de Santa Maria situa-se na zona de transição entre a Depressão Periférica Sul-Rio-Grandense, também conhecida por Depressão central e a escarpa arenito-basáltica do Planalto Meridional Brasileiro. Em geral, possui topografia suavemente ondulada, às vezes com declives mais acentuados nas bordas, e formam áreas mais baixas e planas entre as mesmas (ABRÃO et al., 1988) e declividade variando de 3 a 8% (HENTZ et al., 2013).

5.1.2 Clima

O clima da região da área de estudo é o Cfa da classificação de Köppen, o qual corresponde ao clima subtropical úmido, sem estiagens (MORENO, 1961). A temperatura média anual do município de Santa Maria é de 19,2°C, sendo que a temperatura média do mês mais frio é de, aproximadamente, 13,8°C e a precipitação pluviométrica total anual é de, aproximadamente, 1708 mm (MALUF, 2000). As precipitações dos anos de 2006, 2007, 2012 e 2013, épocas em que foram realizadas as coletas dos dados, constam nos anexos A e B.

5.1.3 Vegetação

Quanto à vegetação de Santa Maria, pode-se verificar a presença de campos limpos e de floresta estacional decidual que cobre as escarpas da Serra Geral e

vários morros testemunhos, situados na Depressão central. Devido ao uso agrícola e desenvolvimento urbano, grande proporção de floresta nativa sofreu processo de alteração antrópica, descaracterizando a estrutura natural. Atualmente, há fragmentos da floresta com vegetação nativa em vários estágios de sucessão (LONGHI et al., 2000).

5.1.4 Solo

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (EMBRAPA, 2013), pertencente à Unidade de Mapeamento São Pedro. Esta unidade de mapeamento caracteriza-se por apresentar solos profundos, avermelhados, textura superficial arenosa, friáveis e bem drenados. São solos ácidos, com saturação de bases baixa a média, e pobres na maioria dos nutrientes e em matéria orgânica (BRASIL, 1973). O Argissolo em estudo não possui horizonte E e o horizonte Bt inicia a partir dos 0,80 m de profundidade (PREVEDELLO, 2012). Conforme Prevedello (2008), o solo em estudo apresenta de textura franco-arenosa (Tabela 1).

Tabela 1 - Distribuição do tamanho das partículas do Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico, no município de Santa Maria, RS.

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

Fonte: Prevedello (2008).

Antes da aplicação dos tratamentos foi realizada uma caracterização física do solo, determinando a agregação, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, a qual foi denominada de época 1 e está especificada nos resultados e discussão do presente estudo. Os atributos químicos do solo, antes da aplicação dos tratamentos, estão reportados na tabela 2. Conforme a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, RS/SC (2004), o solo em estudo apresenta pH em água muito baixo e baixo teor de matéria orgânica.

Tabela 2 - Atributos químicos* do Argissolo, antes da aplicação dos tratamentos, nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, no município de Santa Maria, RS.

Profundidade	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	H+Al	m	V
m	H ₂ O	%	--- mg dm ⁻³ ---		----- Cmol _c dm ⁻³ -----		----- % -----		
0-0,10	4,4	1,8	6,8	96	0,9	0,5	6,2	41	21
0,10-0,20	4,5	1,3	1,5	56	0,7	0,4	6,9	56	15
0,20-0,30	4,4	1,3	1,5	32	0,6	0,3	10,9	66	8
0,30-0,40	4,5	1,3	1,5	44	0,9	0,3	8,7	62	13

*pH = potencial de hidrogênio; MOS = matéria orgânica do solo; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = Alumínio; m = saturação por Al; V = saturação por bases.
Fonte: Prevedello (2008).

5.2 Caracterização do experimento

O experimento utilizado no presente estudo foi instalado em novembro de 2006, para a avaliação do preparo do solo e do crescimento inicial de *Eucalyptus grandis*, por Prevedello (2008).

O delineamento experimental empregado na instalação do experimento foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos distribuídos em três blocos com unidades experimentais de 20 X 30 m, totalizando 600 m². A área total do experimento é de 0,72 hectares. Os tratamentos utilizados na implantação do experimento foram: coveamento manual (CM); escarificado (Esc); escarificado mais

grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER) (Figura 2). A aplicação dos tratamentos foi antecedida por roçada mecânica em toda área.

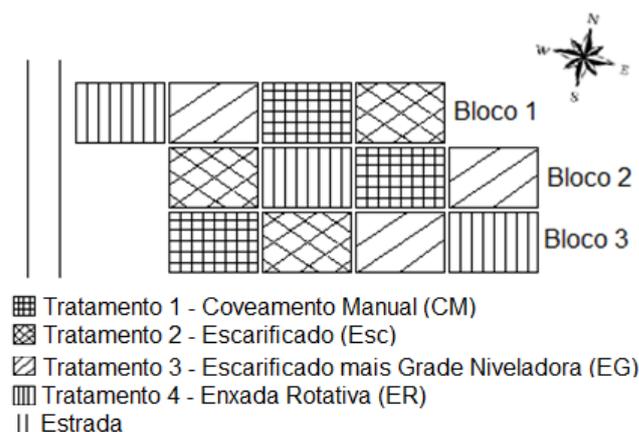


Figura 2 - Croqui da área de estudo e os respectivos tratamentos aplicados.

O coveamento manual foi realizado com o uso de um trado, formando covas de 0,10 m de profundidade e 0,08 m de diâmetro. Posteriormente, foi realizada a aplicação de herbicida dessecante (glifosato) numa faixa de um metro de largura, somente na linha de plantio, com objetivo de evitar a matocompetição. A escarificação foi realizada com um escarificador de uma haste inclinada do tipo “jumbo” até a profundidade de 0,3 m, espaçada a cada 3 m. No tratamento escarificação mais grade niveladora, a escarificação foi seguida por uma passagem de grade de disco “off-set” ou “V” com uma profundidade de operação de 0,10 metros. O preparo com enxada rotativa mobilizou uma faixa de 1,0 metro de largura e 0,20 metros de profundidade. Na aplicação dos tratamentos foi utilizado um trator Valmet 110 (PREVEDELLO, 2008).

As mudas de *Eucalyptus grandis* foram produzidas pela Tecnoplanta Florestal LTDA., localizada em Barrado Ribeiro-RS. As sementes para a produção das mudas foram provenientes do pomar clonal da empresa Rigesa. O plantio das mudas foi realizado com espaçamento de 3,0 X 2,0 m, sendo que cada unidade experimental continha 100 plantas distribuídas em 10 linhas com 10 plantas em cada linha. O plantio foi realizado em novembro de 2006 (PREVEDELLO, 2008).

Trinta dias após o plantio foi realizada a aplicação de, aproximadamente, 218 kg ha⁻¹ de NPK fórmula 33-80-18. A recomendação da adubação foi baseada na recomendação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, RS/SC (2004), a partir da análise química de 12 amostras simples para cada amostra composta (Tabela 2) (PREVEDELLO, 2008).

Um mês após o plantio, foi necessário um replantio de 15% das mudas, devido às condições climáticas adversas e ao ataque de formigas. O ataque de formigas foi controlado diariamente, sendo que na presença destas foram aplicados formicidas em pó e iscas granuladas no experimento e em áreas adjacentes. Além disso, foram feitas duas roçadas mecânicas na entrelinha, sendo a primeira efetuada dois meses após o plantio e a segunda 5 meses após, além de reaplicação de herbicida glifosato no tratamento CM, a fim de reduzir ou evitar o efeito da matocompetição (PREVEDELLO, 2008).

5.3 Coleta e análise de solo

Para verificar a variação das propriedades físicas do solo ao longo do tempo, foram utilizados dados de amostragens de quatro épocas:

- Época 1: realizada antes da aplicação dos tratamentos. Teve como objetivo caracterizar as propriedades físicas da área experimental antes da aplicação dos tratamentos. Conforme Prevedello (2008), na época 1 a área experimental encontrava-se em pousio a mais de vinte anos e não apresentava características de degradação estrutural.
- Época 2: três meses após a aplicação dos tratamentos, sendo que os tratamentos foram aplicados em novembro de 2006;
- Época 3: doze meses após a aplicação dos tratamentos;
- Época 4: setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos.

Os dados de coleta de solo das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008). Nas épocas 1, 2, 3 e 4 foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada e com estrutura alterada, em trincheiras com 0,40 m, nas seguintes profundidades: 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 m. Foram feitas duas trincheiras em cada um dos tratamentos, sendo uma trincheira na linha e outra na

entrelinha de plantio, sendo coletadas duas repetições por profundidade, totalizando 24 pontos de coleta, conforme a figura 3.



Figura 3 - Ponto de coleta de solo na entrelinha do Argissolo, na época 4, em Santa Maria, RS.

As amostras com estrutura não preservada foram obtidas por meio da raspagem do solo com espátula e foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados. Essas amostras foram utilizadas na obtenção da densidade de partículas. As amostras com estrutura preservada foram coletadas no centro da camada, com o uso de cilindros metálicos de 0,06 m de diâmetro e 0,05 m de altura (Figura 3), e foram utilizadas na obtenção da densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo.

Nas épocas 2, 3 e 4 também foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-0,05 m, na linha e na entrelinha do plantio, para obtenção do carbono orgânico e dos agregados estáveis em água. As amostras para análise de agregados e carbono orgânico do solo foram acondicionadas em sacos plásticos identificados.

A análise de carbono orgânico foi realizada no laboratório de química e fertilidade do solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e as análises das propriedades físicas do solo foram processadas no laboratório de física do solo da UFSM, por meio dos métodos descritos a seguir.

5.3.1 Determinações

5.3.1.1 Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) foi determinada pelo método de combustão úmida, descrito por Yeomans e Bremner (1988) (RHEINHEIMER et al., 2008). Aproximadamente 0,25 g de terra fina seca ao ar (TFSA) foram colocadas em tubos de vidro de 25 cm de altura e 2,5 cm de diâmetro. Lentamente, foi adicionada na parede do tubo, uma solução oxidante composta de 10 mL de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ 0,067 mol L⁻¹) mais 15 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Em seguida, os tubos foram colocados em bloco de digestão, com uma esfera na extremidade superior do tubo, para servir de condensador. Depois de um pré-aquecimento do bloco a 150°C, os tubos foram colocados no bloco, permanecendo sob aquecimento por 30 minutos. O conteúdo dos tubos foi transferido para um erlenmeyer com 80 mL de água destilada. As amostras foram tituladas com sulfato ferroso amoniacal [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$] 0,2 mol L⁻¹, na presença de cinco gotas de indicador ferroína (O-fenantrolina), até o aparecimento da cor violeta.

Por meio da titulação de provas em branco sem aquecimento foi determinada a concentração real do sulfato ferroso amoniacal. Algumas provas em branco foram submetidas ao aquecimento, para controlar uma possível redução do dicromato durante o processo.

5.3.1.2 Densidade de partículas, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo

A densidade das partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico modificado proposto por Gubiani et al. (2006). Nesta análise, as amostras de solo foram maceradas e secas em estufa a 105°C por 24 horas e, posteriormente, foram resfriadas em dessecador. Em seguida, foi transferido, aproximadamente, 20 g do solo para o balão volumétrico aferido a 50 mL. Após foi adicionado um pouco de

álcool no balão e agitou-se até saírem as bolhas de ar. Em seguida completou-se o balão volumétrico com o álcool até 50 mL. Com isso foi obtido o peso do balão mais o solo e o álcool. Determinou-se também a densidade do álcool por meio da relação entre a massa do álcool pelo seu volume. Assim, a densidade de partículas foi obtida por meio de a expressão matemática a seguir:

$$Dp = (Mbs - Mb) / [50 - (Mbsa - Mbs) / Da]$$

Onde:

Dp = densidade de partículas do solo (g cm^{-3});

Mbs = massa do balão volumétrico contendo o solo (g);

Mb = massa do balão volumétrico (g);

$Mbsa$ = massa do balão volumétrico contendo solo mais álcool (g);

Da = densidade do álcool (g cm^{-3}).

A densidade, a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade do solo foram obtidas por meio da metodologia descrita por EMBRAPA (1997). Para tanto, as amostras de solo não deformadas foram saturadas por capilaridade durante 24 horas, sendo posteriormente levadas à mesa de tensão, onde foram submetidas à tensão de sucção de 6 kPa. As amostras permaneceram na mesa de tensão até que se estabelecesse o equilíbrio entre a água retida da amostra e a sucção aplicada. Em seguida, as amostras foram colocadas na estufa a 105°C até atingirem peso constante.

A densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram obtidas por meio das seguintes expressões matemáticas:

$$Ds = b/c$$

$$Pt = Mac + Mic$$

$$Mac = (d - a)/c$$

$$Mic = ((a - b)/c)$$

Onde:

D_s = densidade do solo (g cm^{-3});

P_t = porosidade total do solo ($\text{m}^{-3} \text{m}^{-3}$);

Mac = macroporosidade do solo ($\text{m}^{-3} \text{m}^{-3}$);

Mic = microporosidade ($\text{m}^{-3} \text{m}^{-3}$);

a = peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm (6 kPa) de coluna de água (g);

b = peso da amostra seca a 105-110°C (g);

c = volume do cilindro (cm^3);

d = peso da amostra saturada.

5.3.1.3 Resistência mecânica do solo à penetração das raízes

A resistência do solo à penetração das raízes (RP) foi determinada com o uso de um penetrômetro digital (modelo da marca Falker penetroLOG PLG1020) com armazenamento eletrônico dos dados (Figura 4a) e cone com diâmetro de 12,83 mm. As leituras foram realizadas até a profundidade de 0,50 m. A RP foi medida a 0,20; 0,40 e 0,60 m de distância perpendicular à linha de plantio (Figura 4b), nas árvores com diâmetro médio da unidade experimental. Foram realizadas três repetições por unidade experimental.

Para a obtenção da umidade gravimétrica (U_g), juntamente com as medidas de RP, foram coletadas amostras de solo, com trado holandês, nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50 m do solo. Foi coletada uma amostra de solo em cada uma das profundidades, em cada unidade experimental.

A determinação da resistência à penetração foi realizada em Julho de 2013, em época que o solo estava com umidade próxima da capacidade de campo.

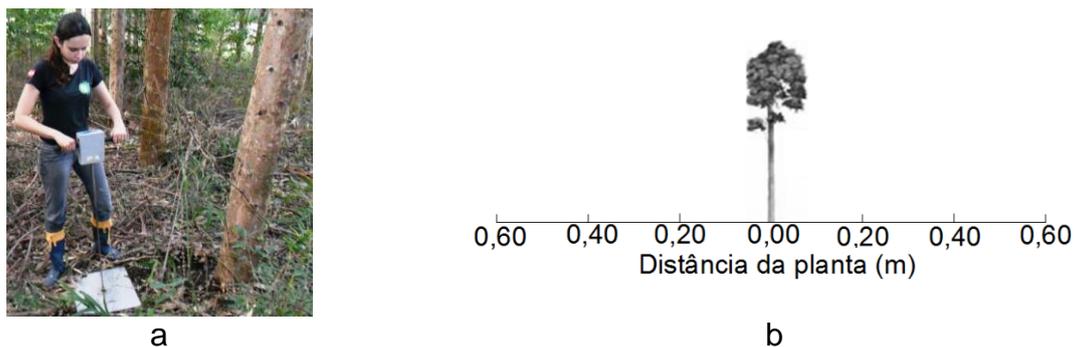


Figura 4 - a) análise de resistência à penetração do solo; b) posições de coleta da resistência à penetração do solo (0,20; 0,40 e 0,60 m de cada lado da árvore).

5.3.1.4 Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água

A distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água foi avaliada pelo método modificado de Kemper e Chepil (1965).

No laboratório, as amostras de solo foram destorroadas manualmente, por meio dos seus planos de fraqueza, sempre com movimentos de tração para evitar a compressão dos agregados. Os agregados foram passados em uma peneira de 8 mm e, em seguida, acondicionados em caixas de madeira para secagem ao ar (Figura 5a). Depois de secos, 50 gramas de agregados de cada tratamento e de cada posição (linha e entrelinha) foram umedecidos por capilaridade durante 10 minutos sobre um jogo de peneiras com aberturas de malha de 4,76; 2,00; 1,00 e 0,25 mm, respectivamente nesta ordem. As peneiras, postas em um aparelho de oscilação vertical, receberam 30 oscilações por minuto com uma amplitude de 3,8 cm (Figura 5b) durante 10 minutos.

Posteriormente, o solo retido em cada peneira foi acondicionado em latas de alumínio e levado para a estufa a 105°C por 24 horas, para posterior imersão em solução dispersante de NaOH a 6%, a fim de separar a areia e impurezas dos agregados. A areia retida em cada peneira foi levada a estufa e após foi pesada para obtenção da massa de agregados sem a fração areia (Figura 5c).

Para obtenção da umidade volumétrica residual, aproximadamente 50 g de agregados foram colocados na estufa e depois de secos foram pesados.

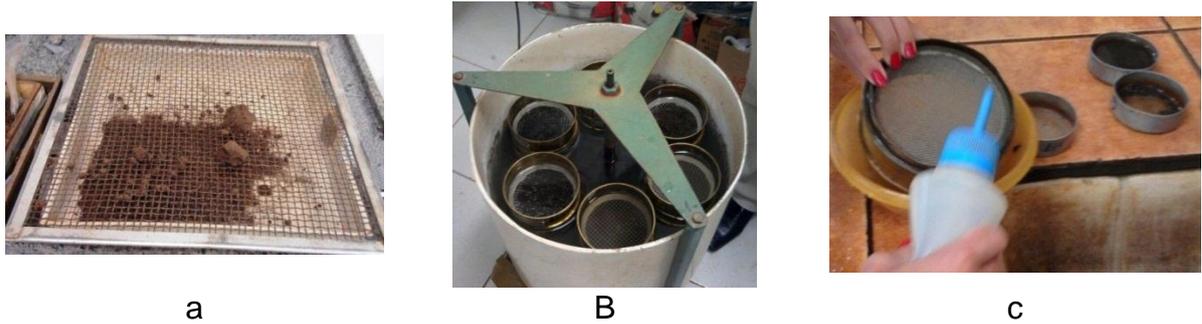


Figura 5 - Etapas da análise da distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água pelo Método de Kemper e Chepil (1965).

A percentagem de agregados, o diâmetro médio geométrico e o diâmetro médio ponderado, foram obtidos por meio das seguintes expressões matemáticas:

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

$$DMG(mm) = EXP \left[\sum_{i=1}^n (AGR_i * LN(ci)) / \sum_{i=1}^n AGR_i \right]$$

$$DMP(mm) = \sum MA_i c_i / MAT$$

Onde:

$AGR_i (\%)$: percentagem de agregados por intervalo de classe de tamanho;

DMG = diâmetro médio geométrico (mm);

DMP = diâmetro médio ponderado (mm);

$mAGR_i$ = massa de agregados em cada classe i , menos areias (g);

$\sum_{i=1}^n AGR_i$ = massa total de agregados, menos areias (g);

LN = logaritmo neperiano;

ci = valor médio da classe de agregados i (mm);

MAT = massa total de agregados descontada a fração inerte (g);

MA_i = massa de agregados da classe i (g).

5.4 Avaliação do crescimento do povoamento de *Eucalyptus grandis*

Para avaliar o crescimento do povoamento de *Eucalyptus grandis*, foram realizadas medições das variáveis dendrométricas altura total e circunferência à altura do peito (CAP), as quais foram feitas nas árvores centrais remanescentes de cada unidade experimental, deixando em cada lado da unidade experimental duas linhas de árvores como bordadura. As medições da circunferência à altura do peito e das alturas totais das árvores foram feitas com o uso de fita métrica e hipsômetro Vertex IV, respectivamente. Posteriormente, as circunferências à altura do peito foram convertidas em diâmetro à altura do peito (DAP), por meio da expressão matemática: $DAP = CAP/\pi$, sendo que π é igual ao valor de 3,1416.

As alturas e os diâmetros foram mensurados aos 3, 6, 9, 12, 74 e 81 meses de idade das árvores. Até 12 meses de idade das árvores foi medido o diâmetro a 10 cm de altura da árvore (d_{10}) e, após 12 meses foi medida a circunferência à altura do peito. Após As medições realizadas até os 12 meses de idade foram feitas por Prevedello (2008). Em nenhum momento o povoamento sofreu desbaste.

5.4.1 Determinações

5.4.1.1 Área basal por hectare

A área basal por hectare (G_i) foi determinada por meio da seguinte expressão matemática:

$$G_i = \frac{\sum g_i}{0,0216}$$

Onde:

G_i = área basal por hectare (m^2/ha);

$\sum g_i$ = somatório da área transversal das árvores medidas em cada unidade experimental (m^2);

0,0216 = valor da área ocupada pelas árvores medidas em cada unidade experimental, em hectare.

A área transversal das árvores foi calculada por meio da seguinte expressão matemática (FINGER, 1992):

$$g_i = \frac{\pi * DAP_i^2}{4}$$

Onde:

g_i = área transversal (m^2);

DAP_i = diâmetro à altura do peito a 1,30 m do solo (cm).

5.4.1.2 Volume total e comercial

O volume total foi obtido por meio do volume do cilindro, conforme expressão matemática a seguir:

$$V_i = G_i * h_i$$

Onde:

V_i = volume total (m^3);

G_i = definido anteriormente;

h_i = altura das árvores da unidade experimental (m).

O volume comercial até a altura com diâmetro com casca de 8,0 cm (v_8) foi obtido por meio da tabela de volume elaborada por Müller et al. (2005).

5.4.1.3 Relação hipsométrica

Para as épocas de 12 e 74 meses foram ajustadas as equações de relação hipsométricas que constam na tabela 3. Como critério de seleção das equações, foram utilizados o gráfico de dispersão dos resíduos e o coeficiente de determinação, o qual foi obtido por meio da fórmula matemática:

$$R^2 = SQ_{REG.}/SQ_{TOTAL}$$

Onde:

R^2 = coeficiente de determinação;

$SQ_{REG.}$ = soma de quadrados da regressão;

SQ_{TOTAL} = soma de quadrados total;

Tabela 3 - Modelos de relação hipsométrica ajustados para *Eucalyptus grandis*, em Santa Maria, RS.

Época (meses)		Modelo matemático*
12	1	$h = b_0 + b_1 * DAP$
	2	$h = b_0 + b_1 * DAP^{-1}$
	3	$h^{-1} = b_0 + b_1 * DAP^{-1}$
	4	$h = b_0 + b_1 * DAP^2$
74	1	$\text{Ln}(h) = b_0 + b_1 * \text{Ln}(DAP)$
	2	$h = b_0 + b_1 * \text{Ln}(DAP)$
	3	$h^{-1} = b_0 + b_1 * DAP^{-1}$
	4	$\text{Ln}(h) = b_0 + b_1 * DAP^{-1}$

b_0 = intercepto; b_1 = coeficiente angular; DAP = diâmetro à altura do peito; Ln = Logaritmo neperiano.

* Os modelos foram obtidos de Finger (1992).

A equação selecionada para cada época foi utilizada na análise de covariância. A análise de covariância foi realizada para verificar a necessidade do uso de funções independentes para cada tratamento, para descrição de relação hipsométrica, conforme os procedimentos descritos por Schneider et al. (2009).

5.4.1.4 Sobrevivência das árvores

A sobrevivência, em percentagem, foi determinada por meio da seguinte expressão matemática:

$$S\% = \frac{n_i}{36} * 100$$

Onde:

$S\%$ = sobrevivência (%);

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

5.4.1.5 Distribuição do sistema radicular

A distribuição do sistema radicular foi avaliada por meio do método do perfil descrito por Böhm (1979). Para a análise da distribuição do sistema radicular, foi utilizada a árvore com altura média de cada unidade experimental. O perfil foi feito perpendicularmente à linha de plantio, com parede vertical de, aproximadamente, 0,05 m distante da planta. Foram utilizadas varetas de metal para retirar uma camada de aproximadamente 0,010 m do perfil, expondo as raízes. Após a exposição das raízes, foi utilizado um quadrado de 1,00 x 0,60 m subdivididos com fio de náilon formando uma malha de 0,05 x 0,05 m para desenhar e fotografar (Apêndice O e Anexo C) a distribuição radicular no perfil. A análise do sistema radicular foi realizada aos oito meses (PREVEDELLO, 2008) e aos 74 meses de idade das árvores.

5.5 Correlação entre propriedades do solo e crescimento do *Eucalyptus grandis*

A correlação foi feita para verificar a influência das propriedades físicas do Argissolo no crescimento inicial e após 74 meses de idade do eucalipto. Para tanto, foram realizadas correlações entre crescimento e propriedades físicas do solo, avaliando duas condições:

- **Condição 1:** para verificar a influência de propriedades do Argissolo no crescimento inicial do eucalipto. Foram utilizados dados de coleta de solo (macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e matéria orgânica do solo de todas as profundidades da linha de plantio, a qual recebeu os tratamentos) e de crescimento (altura e d_{10}) realizados aos 3 meses de idade das árvores;
- **Condição 2:** para verificar a influência de propriedades do Argissolo no crescimento após 74 meses de idade do eucalipto. Foram utilizados dados de coleta de solo (macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e matéria orgânica do solo de todas as profundidades da linha de plantio, a qual recebeu os tratamentos) realizada aos 72 meses e de crescimento (altura, DAP e área basal) obtidos aos 74 meses de idade das árvores.

A correlação de Pearson (r) foi realizada por meio da expressão matemática:

$$r = \frac{\text{Covariância de } Y \text{ e } X}{(\text{Variância de } Y) * (\text{Variância de } X)}$$

5.6 Análise estatística

Para verificar a variação temporal das propriedades físicas do solo, no período de 2006 a 2012, os dados das propriedades físicas do solo foram submetidos à análise de variância. Quando o teste F apresentou-se significativo, foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Para as variáveis de crescimento também foi realizada a análise de variância e, quando o teste F apresentou-se significativo, foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os cálculos e as análises estatísticas foram realizados com o auxílio dos programas Assistat 7.7 Beta, SPSS Statistics 20, SAS e Microsoft Excel 2010. Os gráficos foram realizados com os programas Microsoft Excel 2010, Grapher 7 e Surfer 8.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Propriedades físicas e matéria orgânica do solo

6.1.1 Matéria orgânica do solo

Nas épocas avaliadas o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) variou de 1,71 a 2,72%, o qual é interpretado como teor baixo a médio, pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, RS/SC (2004).

Não ocorreu interação entre método de preparo do solo e época para MOS (Tabela 4, Apêndice G) e o teor de MOS não diferiu estatisticamente entre épocas, nem entre tratamentos. Resultado semelhante foi encontrado por Ibiapina (2011), o qual encontrou aumento no teor de MOS com o aumento da idade das árvores, comparando povoamento de eucalipto de 1 ano versus 4 anos de idade, em um Latossolo Amarelo.

Tabela 4 - Matéria orgânica do solo (%) na linha de plantio para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), nas épocas 1, 2, 3 e 4, em Santa Maria, RS.

Época*	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
1	2,02	1,98	1,84	1,81	1,91
2	2,04	2,04	1,82	2,32	2,06
3	2,31	1,71	2,72	2,04	2,19
4	2,30	2,07	2,22	2,26	2,21
Média	2,16	1,95	2,15	2,11	

* Época 1: antes da aplicação dos tratamentos; épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para MOS na linha (L) e na entrelinha de plantio (E), nas épocas 2, 3 e 4, não foi encontrada interação entre método de preparo do solo e posição (Tabela 5 e Apêndice H).

Tabela 5 - Matéria orgânica do solo (%) na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Posição	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
Época 2*					
L	2,04	2,04	1,82	2,32	2,06 B
E	2,83	2,58	2,11	2,49	2,50 A
Média	2,43 a**	2,31 a	1,97 b	2,40 a	
Época 3					
L	2,29	2,01	2,44	1,71	2,11
E	2,31	1,71	2,72	2,04	2,19
Média	2,30	1,86	2,58	1,87	
Época 4					
L	2,30	2,07	2,22	2,26	2,21
E	1,97	2,09	2,15	1,97	2,05
Média	2,13	2,08	2,19	2,11	

* Épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

** Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na época 2 ocorreu diferença entre as médias de MOS dos tratamentos, com menor valor para o EG. Na mesma época também foi constatada diferença entre posição, com menor valor para a linha de plantio (Tabela 5). Diekow (2003) e Portela et al. (2011) reportam que quanto maior a intensidade de revolvimento do solo, maior a desagregação do solo e menor é a eficiência do mecanismo de proteção física da matéria orgânica, possibilitando maior disponibilidade de oxigênio para os processos oxidativos de mineralização e, conseqüentemente, maior é a perda de MOS. Bayer et al. (2000) verificaram que a redução do revolvimento do

solo causou uma expressiva diminuição das taxas de perda de matéria orgânica, sendo que no plantio direto reduziu pela metade a taxa de perda de MOS, comparativamente ao preparo convencional de culturas agrícolas.

6.1.2 Propriedades físicas do solo

6.1.2.1 Densidade de partículas, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo

A densidade de partículas do solo variou de 2,56 a 2,61 g cm⁻³ (Apêndice A, Tabela 6). A matéria orgânica da superfície do solo não influenciou a densidade de partículas. A matéria orgânica agiria no sentido de reduzir a densidade de partículas, pelo fato de apresentar menor massa por unidade de volume do que as partículas minerais do solo.

Tabela 6 - Densidade de partículas do solo para os tratamentos coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Profundidade (m)	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
	Densidade de partículas (g cm⁻³)				
0-0,10	2,58	2,60	2,58	2,61	2,59
0,10-0,20	2,60	2,58	2,56	2,61	2,58
0,20-0,30	2,57	2,59	2,60	2,61	2,59
0,30-0,40	2,61	2,57	2,60	2,61	2,60
Média	2,59	2,58	2,58	2,61	

Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Em relação à densidade do solo, não houve interação entre método de preparo do solo e época, em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 7 e Apêndice B).

Tabela 7 - Densidade do solo (g cm^{-3}) na linha de plantio para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Época*	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
Profundidade de 0-0,10 m					
1	1,52	1,48	1,43	1,45	1,47 A**
2	1,50	1,29	1,26	1,25	1,33 B
3	1,30	1,26	1,30	1,15	1,25 B
4	1,38	1,24	1,32	1,23	1,30 B
Média	1,43 a	1,32 b	1,33 b	1,27 b	
Profundidade de 0,10-0,20 m					
1	1,57	1,56	1,53	1,53	1,55 A
2	1,58	1,37	1,32	1,53	1,45 AB
3	1,50	1,39	1,40	1,50	1,45 AB
4	1,43	1,32	1,38	1,46	1,40 B
Média	1,52 a	1,41 b	1,41 b	1,50 ab	
Profundidade de 0,20-0,30 m					
1	1,53	1,54	1,50	1,48	1,51
2	1,57	1,36	1,42	1,52	1,47
3	1,49	1,47	1,42	1,46	1,46
4	1,47	1,43	1,41	1,44	1,44
Média	1,51 a	1,45 b	1,44 b	1,48 ab	
Profundidade de 0,30-0,40 m					
1	1,57	1,56	1,52	1,53	1,54
2	1,58	1,45	1,46	1,56	1,51
3	1,53	1,45	1,52	1,52	1,50
4	1,52	1,45	1,42	1,48	1,47
Média	1,55	1,48	1,48	1,52	

* Época 1: antes da aplicação dos tratamentos; épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

** Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os valores de densidade do solo variaram de 1,15 a 1,58 g cm^{-3} e, portanto, ficaram abaixo dos valores considerados restritivos ao crescimento radicular para solos de textura franco e arenosa, citados por Reichert et al. (2003), que é de 1,60 -

1,80 g cm⁻³. Todavia, Reichert et al. (2003) ressaltam que há dificuldade para a definição e adoção de um valor crítico ou restritivo para propriedades do solo, pois em caráter experimental, tem-se observado que as plantas continuam produzindo adequadamente, mesmo em solos que muitas vezes apresentam condições inadequadas em termos teóricos.

De modo geral, numericamente a densidade do solo aumentou com a profundidade (Tabela 5). Cavichiolo et al. (2003) avaliaram o efeito de métodos de preparo do solo em propriedades físicas de Latossolos de textura argilosa e média, com plantio de *Eucalyptus saligna* Smith, e também verificaram que a densidade do solo aumentou com a profundidade. Zalamena (2008), Dedecek et al. (2008) e Baptista e Levien (2010) encontraram resultado semelhante ao descrito.

A redução do conteúdo de matéria orgânica do solo, o aumento da quantidade de argila e o adensamento natural do solo proporcionado pelas camadas subjacentes, podem ser listados como fatores responsáveis pelo aumento da densidade do solo com o aumento da profundidade (REICHERT et al., 2007; CAVENAGE et al., 1999). Em relação à matéria orgânica do solo, Laurindo et al. (2009) relatam que os compostos orgânicos floculam o solo, proporcionando maior macroporosidade e, por isso, diminui a relação massa volume, causando a redução da densidade do solo. Ademais, a matéria orgânica tem densidade menor do que o material mineral. Além disso, a menor densidade na camada superficial pode ser justificada pelo fato de que, na superfície, ocorrem com mais frequência os processos de umedecimento e secagem do solo, facilitando a recuperação da estrutura edáfica (CAVICHIOLO et al., 2005). Ressalta-se que a atividade biológica e a radicular também contribuem para a menor densidade na camada superficial do solo (REICHERT et al., 2009).

Comparando os métodos de preparo do solo, na profundidade de 0-0,10 m o CM manual apresentou maior valor médio de densidade do solo (Tabela 7) diferindo dos demais tratamentos. A maior densidade do solo no CM pode ser explicada pela consolidação natural do solo em função da ausência de preparo nesse tratamento. A menor densidade no Esc, EG e ER na profundidade de 0-0,10 m, refletiu o efeito do preparo do solo. Logo após o preparo do solo (época 2) a redução da densidade do solo nos tratamentos com revolvimento foi expressiva, comparando com o tratamento não revolvido (CM). Gatto et al. (2003) também constataram menor densidade do solo em tratamentos que passaram por revolvimento do solo,

estudando o efeito de métodos de preparo do solo em plantios de *Eucalyptus grandis* em Santa Bárbara-MG. Resultados semelhantes foram encontrados por Reichert et al. (2009), em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico com plantio de feijão.

Nas profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m o CM não diferiu do tratamento ER e na profundidade de 0,30-0,40 m não foi verificada diferença entre tratamentos.

Decorridos 72 meses da aplicação dos tratamentos, ocorreu redução da densidade do solo nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, com valores significativamente menores do que os valores observados antes da aplicação dos tratamentos. Mishra et al. (2003) também constataram redução na densidade do solo com o aumento de idade de *Eucalyptus tereticornis*, avaliando as alterações nas propriedades de um solo sódico com plantio de eucalipto de 3, 6 e 9 anos de idade, na Índia.

A redução da densidade do solo ao longo do tempo pode contribuir para a melhoria da qualidade edáfica, favorecendo o crescimento radicular, assim como pode melhorar a infiltração de água e a movimentação de nutrientes e gases no perfil do solo. Como complementa Laurindo et al. (2009), a redução da densidade do solo indica melhoria na qualidade física do solo decorrente, possivelmente, da atividade da fauna e das raízes das árvores, atuando na formação de bioporos e na estabilização da estrutura do solo. Mishra et al. (2003) citam que a serapilheira e sua decomposição também desempenham um importante papel na melhoria das propriedades físicas do solo, como na redução da densidade do solo e no aumento da porosidade do solo.

Em geral, a macroporosidade diminuiu com o aumento da profundidade do solo (Tabela 8), concordando com o aumento da densidade do solo ao longo do perfil (Tabela 7). Resultados análogos foram obtidos por Dedecek et al. (2007) e Zalamena (2008). Em contrapartida, Cavenage et al. (1999) observaram aumento da macroporosidade do solo em profundidade, estudando alterações em propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, com plantio de *Eucalyptus camaldulensis*, no Mato Grosso do Sul. Cavenage et al. (1999) atribuíram a menor macroporosidade na camada superficial à maior densidade do solo encontrada nessa camada, causada pela compactação superficial provocada pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas.

Tabela 8 - Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na linha de plantio para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Época*	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
Profundidade de 0-0,10 m					
1	0,10	0,11	0,14	0,14	0,12 B**
2	0,10	0,20	0,24	0,27	0,20 A
3	0,21	0,23	0,18	0,23	0,21 A
4	0,22	0,25	0,23	0,30	0,25 A
Média	0,16	0,20	0,20	0,24	
Profundidade de 0,10-0,20 m					
1	0,12	0,10	0,14	0,13	0,12
2	0,07	0,18	0,22	0,11	0,15
3	0,07	0,14	0,12	0,10	0,11
4	0,13	0,19	0,18	0,17	0,17
Média	0,10 b	0,15 A	0,17 a	0,13 ab	
Profundidade de 0,20-0,30 m					
1	0,11	0,10	0,14	0,14	0,12
2	0,08	0,23	0,18	0,12	0,15
3	0,06	0,09	0,11	0,12	0,10
4	0,14	0,15	0,16	0,16	0,15
Média	0,10 b	0,14 A	0,15 a	0,14 a	
Profundidade de 0,30-0,40 m					
1	0,10	0,09	0,12	0,11	0,11 AB
2	0,06	0,17	0,13	0,09	0,11 AB
3	0,05	0,09	0,05	0,09	0,07 B
4	0,12	0,12	0,15	0,13	0,13 A
Média	0,08	0,12	0,11	0,10	

* Época 1: antes da aplicação dos tratamentos; épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

** Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O CM apresentou menor valor de macroporosidade na profundidade de 0,10-0,20 m, porém sem diferir do ER. Na profundidade de 0,20-0,30 m foi observado menor valor médio de macroporosidade no CM, diferindo dos demais tratamentos. O menor valor de macroporosidade no CM corrobora com a maior densidade do solo (Tabela 7) apresentada por este tratamento, justificados pelo não revolvimento do solo. Segundo Tormena et al. (2002) e Ralisch et al. (2008), os maiores valores de macroporosidade nos sistemas com revolvimento podem ser devido ao efeito da mobilização do solo que provoca o fraturamento dos agregados e o desenvolvimento de poros, notadamente macroporos. Dedecek et al. (2007) investigaram os efeitos de métodos de preparo do solo em características físico-hídricas e na produtividade de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) e também averiguaram que os tratamentos com maior revolvimento do solo exibiram maior macroporosidade. Resultados semelhantes também foram obtidos por Cavichiolo et al. (2005), os quais encontraram menor macroporosidade em solo sem preparo comparado com solo submetido à gradagem ou sulcagem, estudando Latossolo com plantio de *Eucalyptus saligna*.

A macroporosidade do solo aumentou com o passar do tempo nas profundidades de 0-0,10 m e 0,30-0,40 m. Um dos fatores que pode ter contribuído para o aumento da macroporosidade do solo, ao longo do tempo, é a morte e decomposição das raízes, formando os bioporos (ANDREOLA et al., 2000). Como complementam Brady e Weil (2013), vegetações perenes, como as florestas, são particularmente eficientes na formação de bioporos. Concordando com o presente estudo, Zalamena (2008) constatou recuperação da macroporosidade em plantio de *Eucalyptus* sp. com 12 anos de idade, ao estudar o impacto do uso do solo nos atributos físicos de solos característicos do Rebordo do Planalto, no Rio Grande do Sul. O autor verificou que a macroporosidade do solo no plantio de eucalipto era maior que a da mata nativa na profundidade de 0-0,10 m. Em povoamentos mais jovens, Ibiapina (2011) não encontrou diferença estatística entre épocas para macroporosidade, em todas as profundidades do solo avaliadas. O autor estudou os atributos físicos de um Latossolo Amarelo com plantio de *Eucalyptus* sp. de 1, 2 e 4 anos.

Os maiores valores de macroporosidade encontrados na época 4 comparados aos valores de macroporosidade antes da implantação do experimento (época 1), sugerem que o plantio de *Eucalyptus grandis* pode ter contribuído para melhorar a

qualidade do solo em termos de macroporosidade, apresentando valores acima do considerado crítico para o crescimento satisfatório das plantas que é $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (VOMOCIL; FLOCKER, 1966 apud SUZUKI et al., 2007; KIEHL, 1979). Já nas épocas 1, 2 e 3, abaixo de 0,30, 0,10 e 0,10 m de profundidade do solo respectivamente, foram observados valores de macroporosidade abaixo do valor considerado crítico, supracitado.

Além de favorecer o crescimento radicular, o aumento da macroporosidade pode ter proporcionado melhor aeração e movimento de água, assim como favorecido a atividade dos organismos do solo. Em relação à atividade dos organismos do solo, Andreola e Fernandes (2007) afirmam que a redução dos macroporos, causada pelo aumento da densidade do solo, acarreta em um aumento nos microporos, levando à maior retenção de água no solo e sua permanência por um período mais longo. Em virtude disso, pode aumentar a comunidade de microrganismos anaeróbicos resultando em maior acúmulo de matéria orgânica, porque em condições anaeróbicas a sua decomposição é incompleta.

Em se tratando de microporosidade, não foi constatada interação entre método de preparo do solo e época. Além disso, não foi averiguada diferença entre tratamentos em nenhuma das profundidades estudadas (Tabela 9, Apêndice B). Cavichiolo et al. (2005) também não encontraram diferença entre métodos de preparo do solo (gradagem, sulcagem e sem preparo) para microporosidade em solos de textura média e argilosa.

Nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, a microporosidade (Tabela 9) diminuiu após o preparo do solo (época 2), aumentou um ano após a aplicação dos tratamentos (época 3) e voltou a diminuir transcorridos 72 meses do preparo do solo (época 4).

Tabela 9 - Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na linha de plantio para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Época*	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
Profundidade de 0-0,10 m					
1	0,31	0,31	0,30	0,28	0,30 A**
2	0,27	0,25	0,23	0,24	0,25 BC
3	0,28	0,26	0,26	0,29	0,27 AB
4	0,24	0,22	0,21	0,23	0,22 C
Média	0,28	0,26	0,25	0,26	
Profundidade de 0,10-0,20 m					
1	0,27	0,27	0,25	0,25	0,26 A
2	0,25	0,24	0,23	0,24	0,24 B
3	0,27	0,25	0,27	0,25	0,26 A
4	0,25	0,24	0,23	0,23	0,23 B
Média	0,26	0,25	0,25	0,24	
Profundidade de 0,20-0,30 m					
1	0,26	0,26	0,26	0,24	0,26 A
2	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24 B
3	0,26	0,27	0,27	0,24	0,26 A
4	0,25	0,24	0,23	0,23	0,24 B
Média	0,25	0,25	0,25	0,24	
Profundidade de 0,30-0,40 m					
1	0,27	0,27	0,25	0,25	0,26
2	0,26	0,25	0,24	0,24	0,25
3	0,26	0,26	0,28	0,25	0,27
4	0,25	0,29	0,24	0,24	0,25
Média	0,26	0,27	0,25	0,25	

* Época 1: antes da aplicação dos tratamentos; épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

** Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A porosidade total variou de 0,31 a 0,53 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ e não ocorreu interação entre método de preparo do solo e época (Tabela 10 e Apêndice B).

Tabela 10 - Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na linha de plantio para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), nas épocas 1, 2, 3 e 4, em Santa Maria, RS.

Época*	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
Profundidade de 0-0,10 m					
1	0,41	0,42	0,44	0,42	0,42 B**
2	0,37	0,45	0,47	0,51	0,45 AB
3	0,49	0,49	0,45	0,53	0,49 A
4	0,46	0,46	0,47	0,52	0,48 A
Média	0,43 b	0,46 ab	0,46 ab	0,50 a	
Profundidade de 0,10-0,20 m					
1	0,38	0,37	0,39	0,38	0,38
2	0,33	0,42	0,45	0,36	0,39
3	0,34	0,40	0,39	0,36	0,37
4	0,38	0,43	0,41	0,39	0,40
Média	0,36 c	0,41 ab	0,41 a	0,37 bc	
Profundidade de 0,20-0,30 m					
1	0,37	0,36	0,41	0,38	0,38
2	0,33	0,47	0,42	0,37	0,40
3	0,32	0,36	0,38	0,36	0,36
4	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
Média	0,35 b	0,39 a	0,40 a	0,38 ab	
Profundidade de 0,30-0,40 m					
1	0,36	0,36	0,38	0,36	0,37
2	0,32	0,42	0,38	0,33	0,36
3	0,31	0,35	0,33	0,34	0,34
4	0,37	0,41	0,38	0,36	0,38
Média	0,34	0,39	0,37	0,35	

* Época 1: antes da aplicação dos tratamentos; épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

** Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os maiores valores de porosidade total foram encontrados na superfície do solo e diminuíram com o aumento da profundidade do solo, o que está coerente com o aumento da densidade (Tabela 7) e com a redução da macroporosidade (Tabela 8) do solo em profundidade. Resultado semelhante foi obtido por Mishra et al. (2003), Rigatto et al. (2005), Dedecek et al. (2008) e Zalamena (2008). Silva et al. (2005) explicam que o maior valor de porosidade total na camada superficial do solo pode ser atribuído à melhoria da estrutura pela atividade biológica e pelo acúmulo de matéria orgânica que ocorrem nessa camada.

Nas profundidades avaliadas até os 0,30 m o CM apresentou menor valor médio de porosidade total, mas não diferiu do Esc e do EG na profundidade de 0-0,10 m; e nas profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m não diferiu estatisticamente do ER. A partir de 0,30 m não ocorreu diferença entre os tratamentos. A menor porosidade total no CM pode ser devido à ausência de preparo do solo nesse tratamento e concorda com o maior valor de densidade do solo e menor valor de macroporosidade por ele apresentado. Cavichiolo (2005) avaliou o efeito de métodos de preparo de um Argissolo Vermelho com plantio de *Pinus taeda* e também verificou que a porosidade total para os tratamentos com revolvimento mais intensivo do solo. Nos solos revolvidos, o autor observou que a porosidade total foi entre 15% a 20% maior que no tratamento sem preparo do solo.

A porosidade total do solo aumentou ao longo dos anos na profundidade de 0-0,10 m. O aumento da agregação do solo 72 meses após o preparo do solo (Tabela 16 e Figura 8) pode ter contribuído para o aumento da porosidade total. Losekann (2009) explica que a agregação das partículas tende a aumentar a porosidade total do solo por que ocorre a formação de partículas secundárias maiores que as mais simples, as quais determinam também um aumento na macroporosidade. Além da agregação, a atividade biológica e o acúmulo de matéria orgânica também podem ter contribuído para o aumento da porosidade total ao longo do tempo na profundidade de 0-0,10 m. Mishra et al. (2003) também observaram aumento da porosidade total com o tempo, comparando povoamentos de eucalipto de 3, 6 e 9 anos.

Em se tratamento da densidade do solo na linha e na entrelinha de plantio, em nenhuma das épocas foi verificada interação entre posição (linha e entrelinha) e método de preparo do solo (Tabela 11 e apêndices C, D e E para as épocas 2, 3 e 4, respectivamente).

Os valores de densidade do solo na linha de plantio variaram de 1,15 a 1,58 g cm⁻³ e na entrelinha, na qual não ocorreu revolvimento do solo, variou de 1,31 a 1,63 g cm⁻³. Apenas na época 2, na entrelinha, foi observado valor de densidade do solo acima do considerado crítico por Reichert et al. (2003), que é de 1,60 - 1,80 g cm⁻³ (Tabela 11).

Na época 2 houve diferença nas médias de densidade do solo entre entrelinha e linha nas profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, com menor valor na linha de plantio. Na época 3, ocorreu diferença entre posições nas profundidades de 0-0,10 e 0,20-0,30 m. Já na época 4 não foi constatada diferença entre posições, indicando reconsolidação do solo. A reconsolidação do solo pode ser definida como o processo pelo qual o solo se recupera após uma intervenção externa (NICOLOSO et al., 2008). A reconsolidação do solo pode ser resultante dos ciclos de umedecimento e secagem do solo e da desagregação superficial do solo pelo impacto das gotas de chuva (VEIGA, 2005).

A menor densidade do solo na época 2 na linha de plantio refletiu o efeito do preparo do solo, corroborando com Correchel et al. (1999), os quais encontraram maiores valores de densidade do solo na posição entrelinha do que na linha, estudando um Latossolo cultivado com milho. Correchel et al. (1999) citam que o preparo do solo causa a fragmentação dos agregados causando a redução da densidade. Além disso, conforme os mesmos autores, a maior densidade inicial do solo na entrelinha pode estar associada ao tráfego de máquinas durante o preparo do solo.

Em relação aos métodos de preparo, o CM exibiu maior densidade do solo na profundidade de 0-0,10 m, mas não diferiu do EG. Já na profundidade de 0,20-0,30 m o CM não diferiu do ER, ambos com menor valor de densidade do solo. Para as épocas 3 e 4 não foi verificada diferença entre os tratamentos para densidade do solo.

Para macroporosidade do solo não foi constatada interação entre posição (linha e entrelinha) e método de preparo do solo (Tabela 12 e Apêndices C, D e E para as épocas 2, 3 e 4, respectivamente).

Na época 2 as médias de macroporosidade do solo diferiram entre posições nas profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m e na época 3 diferiram na profundidade de 0-0,10 m, com menor valor na linha de plantio. Esses resultados concordam com Perrando (2008), o qual também encontrou diferença entre

entrelinha e linha de plantio de acácia-negra com valores variando de 0,14 a 0,23 m^3m^{-3} . Após 72 meses da aplicação dos tratamentos (época 4), constatou-se reconsolidação do solo em relação à macroporosidade, pelo fato de não haver diferença estatística entre posições nem entre tratamentos. Este resultado corrobora com Reichert et al. (2007), os quais reportam que a melhoria causada pela redução da macroporosidade causada pelo revolvimento do solo é temporária.

A macroporosidade variou de 0,04 a 0,23 m^3m^{-3} na entrelinha e de 0,05 a 0,30 m^3m^{-3} na linha de plantio, nas épocas avaliadas (Tabela 12). Vomocil e Flocker (1966 apud SUZUKI et al., 2007) consideram que o valor restritivo ao crescimento radicular para macroporosidade é de 0,10 m^3m^{-3} e, assim sendo, o Argissolo em estudo pode ter apresentado restrições ao crescimento das plantas, exceto na época 4, o que demonstra melhoria na qualidade do solo pelo aumento da macroporosidade no decorrer dos anos.

Na época 2 o CM exibiu menor macroporosidade entre os tratamentos nas profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, entretanto não diferiu do ER. Na época 3 ainda foi averiguada diferença entre tratamentos para macroporosidade, com maior valor no tratamento Esc. Após 72 meses do preparo do solo não houve diferença entre tratamentos, o que sugere reconsolidação do solo (Tabela 12). Reichert et al. (2009) observaram que os efeitos da escarificação sobre a densidade do solo e a RP desapareceram depois de um ano do preparo de um Argissolo Vermelho-Amarelo. Já Rosa et al. (2008) constataram que os efeitos da escarificação perduraram por mais de dois anos e, após quatro anos não se encontrou mais efeito em um Latossolo Vermelho distrófico.

A microporosidade na linha variou de 0,21 a 0,29 m^3m^{-3} e de 0,22 a 0,30 m^3m^{-3} na entrelinha de plantio (Tabela 13). Não foi constatada interação entre método de preparo do solo e posição (Apêndices C, D e E para as épocas 2, 3 e 4, respectivamente). Ocorreu diferença para microporosidade entre posição apenas na profundidade de 0-0,10 m da época 2, com maiores valores observados na entrelinha de plantio. Estes resultados corroboram com Perrando (2008), o qual também encontrou diferença estatística entre entrelinha e linha para microporosidade em plantios de acácia-negra, obtendo maior valor na entrelinha.

A porosidade total variou de 0,31 a 0,53 m^3m^{-3} na linha e de 0,30 a 0,46 m^3m^{-3} na entrelinha de plantio (Tabela 12). Na época 2 houve interação significativa entre método de preparo do solo e posição na profundidade de 0,20-0,30 m (Apêndices C,

D e E para as épocas 2, 3 e 4, respectivamente). Nesta profundidade, ocorreu diferença entre entrelinha e linha para os tratamentos Esc e EG, com maior valor de porosidade total na linha de plantio, resultado do preparo do solo.

Na época 3 ainda foi encontrada diferença entre posições para porosidade total. Diferentemente, na época 4 não foram observadas diferenças significativas entre as posições, nem entre tratamentos, evidenciando o processo de reconsolidação do solo inicialmente revolvido na linha de plantio.

Após o preparo do solo (época 2), os tratamentos diferiram para porosidade total até 0,30 m de profundidade do solo, sendo observado menor valor no CM. Após 12 meses do preparo do solo (época 3) não ocorreu diferença estatística entre tratamentos para porosidade total.

Tabela 11 - Densidade do solo (g cm^{-3}) nas épocas 2, 3 e 4, na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Época 2*													
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m			
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	
	L	E		L	E		L	E		L	E		
CM	1,50	1,40	1,45 A**	1,58	1,58	1,58	1,57	1,57	1,57 A	1,58	1,52	1,55	
Esc	1,29	1,37	1,33 B	1,37	1,63	1,50	1,36	1,55	1,45 B	1,45	1,57	1,51	
EG	1,26	1,45	1,36 AB	1,32	1,57	1,45	1,42	1,54	1,48 B	1,46	1,50	1,48	
ER	1,25	1,35	1,30 B	1,53	1,54	1,53	1,52	1,54	1,53 AB	1,56	1,54	1,55	
Média	1,33	1,39		1,45 b	1,58 a		1,47 b	1,55 a		1,51	1,54		
Época 3*													
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m			
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	
	L	E		L	E		L	E		L	E		
CM	1,30	1,45	1,37	1,50	1,55	1,52	1,49	1,54	1,52	1,53	1,55	1,54	
Esc	1,26	1,50	1,38	1,39	1,50	1,45	1,47	1,50	1,49	1,45	1,54	1,50	
EG	1,30	1,43	1,36	1,40	1,50	1,45	1,42	1,55	1,48	1,52	1,54	1,53	
ER	1,15	1,49	1,32	1,50	1,55	1,53	1,46	1,56	1,51	1,52	1,54	1,53	
Média	1,25 b	1,47 a		1,45	1,53		1,46 b	1,54 a		1,50	1,54		
Época 4*													
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m			
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	
	L	E		L	E		L	E		L	E		
CM	1,38	1,31	1,35	1,43	1,44	1,44	1,47	1,44	1,45	1,52	1,46	1,49	
Esc	1,24	1,35	1,30	1,32	1,48	1,40	1,43	1,45	1,44	1,45	1,51	1,48	
EG	1,32	1,36	1,34	1,38	1,47	1,42	1,41	1,43	1,42	1,42	1,51	1,46	
ER	1,23	1,32	1,28	1,46	1,41	1,43	1,44	1,39	1,42	1,48	1,49	1,49	
Média	1,30	1,33		1,40	1,45		1,44	1,43		1,47	1,49		

* Épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008). ** Médias seguidas de letras iguais, sendo maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 12 - Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Época 2*												
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m		
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média
	L	E		L	E		L	E		L	E	
CM	0,10	0,11	0,11	0,07	0,09	0,08 B	0,08	0,07	0,07 B	0,06	0,08	0,07
Esc	0,20	0,12	0,16	0,18	0,09	0,14 A	0,23	0,11	0,17 A	0,17	0,09	0,13
EG	0,24	0,14	0,19	0,22	0,09	0,16 A	0,18	0,08	0,13 A	0,13	0,08	0,11
ER	0,27	0,17	0,22	0,11	0,12	0,12 AB	0,12	0,12	0,12 AB	0,09	0,10	0,09
Média	0,20 a**	0,14 b		0,15	0,10		0,15 a	0,09 b		0,11	0,09	
Época 3*												
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m		
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média
	L	E		L	E		L	E		L	E	
CM	0,21	0,09	0,15	0,07	0,07	0,07 B	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04
Esc	0,23	0,09	0,16	0,14	0,10	0,12 A	0,09	0,09	0,09	0,09	0,06	0,07
EG	0,18	0,09	0,14	0,12	0,09	0,11 AB	0,11	0,05	0,08	0,05	0,05	0,05
ER	0,23	0,08	0,16	0,10	0,07	0,09 AB	0,12	0,05	0,09	0,09	0,06	0,08
Média	0,21 a	0,09 b		0,11	0,08		0,10	0,06		0,07	0,05	
Época 4*												
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m		
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média
	L	E		L	E		L	E		L	E	
CM	0,22	0,23	0,22	0,13	0,14	0,13	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11
Esc	0,25	0,23	0,23	0,19	0,14	0,17	0,15	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12
EG	0,23	0,22	0,22	0,18	0,15	0,17	0,16	0,16	0,14	0,15	0,11	0,13
ER	0,30	0,24	0,26	0,17	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,13	0,11	0,12
Média	0,25	0,22		0,17	0,14		0,15	0,14		0,13	0,11	

* Épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008). ** Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 13 - Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Época 2*												
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m		
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média
	L	E		L	E		L	E		L	E	
CM	0,27	0,29	0,28	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,27	0,26
Esc	0,25	0,29	0,27	0,24	0,25	0,24	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25	0,25
EG	0,23	0,29	0,26	0,24	0,25	0,24	0,24	0,25	0,24	0,24	0,25	0,25
ER	0,24	0,26	0,25	0,24	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Média	0,25 b**	0,28 a		0,24	0,25		0,24	0,25		0,25	0,25	

Época 3*												
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m		
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média
	L	E		L	E		L	E		L	E	
CM	0,28	0,30	0,29	0,27	0,26	0,27	0,26	0,27	0,27	0,26	0,27	0,27
Esc	0,26	0,29	0,27	0,25	0,26	0,26	0,27	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27
EG	0,26	0,30	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,27	0,28
ER	0,29	0,29	0,29	0,25	0,25	0,25	0,24	0,26	0,25	0,25	0,26	0,26
Média	0,27	0,29		0,26	0,26		0,26	0,27		0,27	0,27	

Época 4*												
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m		
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média
	L	E		L	E		L	E		L	E	
CM	0,24	0,23	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25	0,28	0,27	0,25	0,30	0,28
Esc	0,22	0,22	0,22	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,29	0,24	0,27
EG	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
ER	0,23	0,22	0,23	0,22	0,24	0,23	0,23	0,28	0,25	0,24	0,25	0,24
Média	0,22	0,22		0,23	0,24		0,24	0,26		0,25	0,26	

* Épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008). ** Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 14 - Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nas épocas 2, 3 e 4, na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Época 2*													
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m			
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	
	L	E		L	E		L	E		L	E		
CM	0,37	0,40	0,39 B	0,33	0,34	0,33 B	0,33 C a	0,33 A a	0,33	0,32	0,35	0,34	
Esc	0,45	0,41	0,43 AB	0,42	0,35	0,39 AB	0,47 A a	0,36 A b	0,41	0,42	0,34	0,38	
EG	0,47	0,43	0,45 AB	0,45	0,35	0,40 A	0,42 AB a	0,32 A b	0,37	0,38	0,34	0,36	
ER	0,51	0,43	0,47 A	0,36	0,36	0,36 AB	0,37 BC a	0,35 A a	0,36	0,33	0,34	0,34	
Média	0,45 a**	0,42 b		0,39	0,35		0,40	0,34		0,36	0,34		
Época 3*													
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m			
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	
	L	E		L	E		L	E		L	E		
CM	0,49	0,39	0,44	0,34	0,33	0,34	0,32	0,31	0,32	0,31	0,30	0,31	
Esc	0,49	0,38	0,43	0,40	0,36	0,38	0,35	0,35	0,35	0,35	0,32	0,34	
EG	0,44	0,39	0,42	0,39	0,36	0,38	0,38	0,33	0,35	0,33	0,32	0,33	
ER	0,53	0,37	0,45	0,36	0,33	0,34	0,36	0,31	0,34	0,34	0,32	0,33	
Média	0,49 a	0,38 b		0,37	0,34		0,36	0,33		0,34	0,32		
Época 4*													
Método	Profundidade de 0-0,10 m			Profundidade de 0,10-0,20 m			Profundidade de 0,20-0,30 m			Profundidade de 0,30-0,40 m			
	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	Posição		Média	
	L	E		L	E		L	E		L	E		
CM	0,46	0,46	0,46	0,38	0,38	0,38	0,39	0,41	0,40	0,37	0,41	0,39	
Esc	0,46	0,45	0,46	0,43	0,38	0,41	0,39	0,37	0,38	0,41	0,37	0,39	
EG	0,43	0,44	0,44	0,41	0,38	0,40	0,39	0,40	0,39	0,38	0,35	0,37	
ER	0,53	0,44	0,49	0,39	0,37	0,38	0,39	0,42	0,40	0,36	0,36	0,36	
Média	0,47	0,45		0,40	0,38		0,39	0,40		0,38	0,37		

* Épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008). ** Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

6.1.2.2 Resistência mecânica do solo à penetração das raízes

Como ressaltam Lima et al. (2010), os dados de resistência do solo à penetração das raízes (RP) devem ser avaliados juntamente com os de umidade do solo, devido à interdependência entre estes atributos, sendo que um varia inversamente proporcional ao outro. Na época 2, a umidade do solo variou de 13 a 16%. Na época 3, variou de 16 a 33% e, na época 4, a umidade ficou entre 14 e 16% (Figura 6).

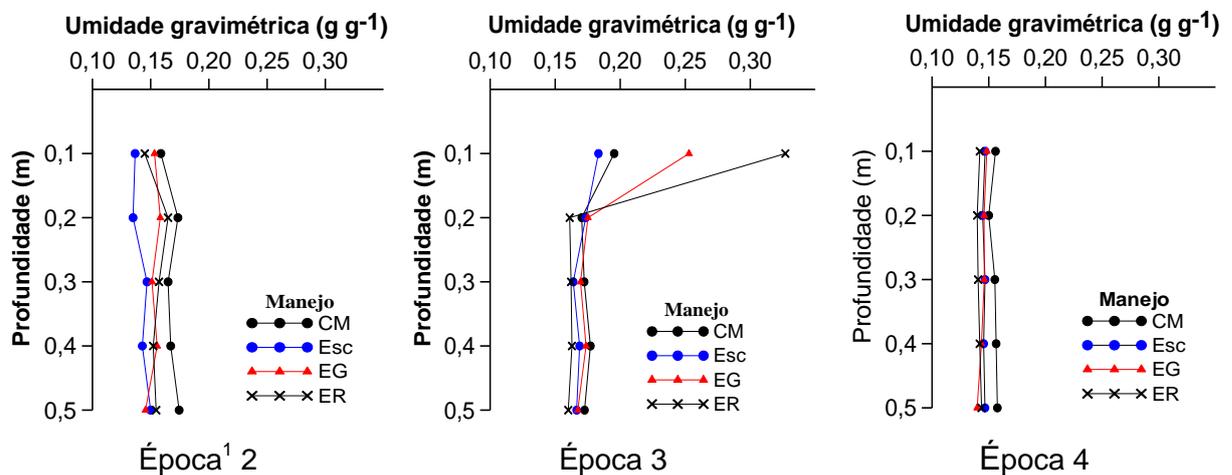


Figura 6 - Umidade gravimétrica do solo, no momento das medições de resistência à penetração do solo, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Os valores de resistência do solo à penetração das raízes (RP) variaram de 0,57 a 2,02 MPa (Tabela 13). Conforme Gonçalves e Stape (2002) para a RP, um valor de 2,0 MPa tem sido comumente associado como impeditivo para o crescimento das raízes. De acordo com os mesmos autores, para espécies florestais, as indicações são de que o crescimento radicular é restrito para valores de resistência entre 2,0-3,0 MPa.

¹ Épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

Em geral, a RP aumentou com a profundidade do solo, concordando com o aumento da densidade do solo e com a redução da macroporosidade e porosidade total do solo em profundidade (Figura 7 e tabela 15). Lincoln et al. (2007) também constataram aumento da RP com a profundidade, estudando solos arenosos e argilosos com plantio de *Pinus taeda*, na Geórgia, EUA. Entretanto Cavenage et al. (1999) encontraram redução da resistência à penetração com o aumento da profundidade do solo, concordando com o aumento da macroporosidade do solo em profundidade encontrado por estes autores, conforme citado anteriormente.

Na profundidade de 0-0,10 m foi encontrada interação significativa entre época e tratamento (Tabela 15 e o Apêndice F). Nesta profundidade, na época 2 os tratamentos Esc, EG e ER exibiram menores valores de RP e diferiram estatisticamente do CM, refletindo o efeito do revolvimento do solo. Lincoln et al. (2007) também encontraram maior RP em tratamento sem preparo do solo, comparando com tratamento com preparo, em solo argiloso. Ralisch et al. (2008) explicam que é comum observar aumento da macroporosidade em camadas do solo revolvidas, motivo pelo qual ocorre menor RP nestas camadas.

Na época 3 da profundidade de 0-0,10 m, o CM não diferiu do EG. Para esta época e profundidade, além do efeito do método de preparo do solo, o menor valor de resistência à penetração do tratamento ER pode ter sido influenciado pelo maior teor de umidade deste tratamento (Figura 6), visto que a umidade tem correlação negativa com a resistência à penetração. Na época 4 os tratamentos não diferiram entre si, resultado da reconsolidação do solo inicialmente revolvido.

Na profundidade de 0-0,10 m, o CM exibiu redução da resistência à penetração ao longo dos anos. Já o tratamento ER exibiu aumento da resistência à penetração da época 2 para a 3, voltando a reduzir na época 4, sem diferir da época 2 (Tabela 15 e Figura 7).

Nas profundidades de 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m a RP das raízes diminuiu da época 2 para a 3 e voltou a aumentar na época 4. Nas profundidades de 0,20-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m a RP da época 4 diferiu da época 2. O maior teor de umidade do solo da época 3 pode ter interferido na menor RP desta época.

Tabela 15 - Resistência à penetração das raízes (MPa) para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Época*	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
Profundidade de 0-0,10 m					
2	1,16 a A**	0,71 b A	0,73 b A	0,57 b B	0,79
3	1,06 a A	0,84 b A	0,88 ab A	0,77 b A	0,89
4	0,88 a B	0,81 a A	0,89 a A	0,69 a AB	0,82
Média	1,03	0,79	0,83	0,68	
Profundidade de 0,10-0,20 m					
2	1,54	1,29	1,29	1,51	1,41 A
3	1,25	0,99	1,00	1,27	1,13 B
4	1,42	1,63	1,52	1,42	1,50 A
Média	1,40	1,30	1,27	1,40	
Profundidade de 0,20-0,30 m					
2	1,56	1,43	1,38	1,71	1,52 B
3	1,34	1,15	1,13	1,32	1,24 C
4	1,68	1,85	1,73	1,59	1,71 A
Média	1,53	1,48	1,41	1,54	
Profundidade de 0,30-0,40 m					
2	1,66	1,66	1,59	1,73	1,66 B
3	1,45	1,29	1,26	1,46	1,37 C
4	1,91	2,02	1,98	1,77	1,92 A
Média	1,67	1,65	1,61	1,65	
Profundidade de 0,41-0,50 m					
2	1,64	1,74	1,61	1,63	1,66 B
3	1,44	1,22	1,16	1,35	1,29 C
4	1,93	2,00	1,90	1,91	1,93 A
Média	1,67	1,65	1,56	1,63	

* Épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

** Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O efeito dos métodos de preparo do solo, de 0 a 0,60 m de distância da árvore e até a profundidade de 0,50 m do solo, pode ser evidenciado na figura 7. Em geral, os maiores valores de RP ocorreram na época 4, nas camadas mais profundas do solo. Na época 3 ocorreram menores valores de RP no perfil, comparando com as demais épocas, o que pode ter influência do maior teor de umidade do solo nesta época.

O CM não apresentou diferenças consideráveis de RP com o aumento da distância da planta, na camada superficial, em todas as épocas avaliadas, pelo fato de não ter revolvimento do solo na linha de plantio, ao contrário dos demais tratamentos. Da época 2 para a 3 do CM, observa-se uma redução da macroporosidade, entretanto, na época 3 há uma maior RP abaixo de 0,20 m de profundidade, à direita da árvore. Na época 4 há uma faixa de solo com valor de RP maior que 2 MPa, abaixo de 0,20 m do solo.

No tratamento Esc, na época 2, a resistência à penetração na linha de plantio de 0 - 0,20 m de distância da planta foi baixa até, aproximadamente, 0,30 m de profundidade do solo. Após essa profundidade, verificou-se um aumento na RP. A menor RP até, aproximadamente, 0,30 m demonstra o efeito benéfico da escarificação, tendo em vista que este método de preparo do solo foi efetuado até a profundidade de 0,30 m. Na época 3 ainda verifica-se menores valores de RP na linha de plantio, todavia, na época 4 os valores de RP passam a ser semelhantes na linha e na entrelinha de plantio.

No tratamento EG também fica evidente o efeito do método de preparo na linha de plantio, na qual foram encontrados os menores valores de RP, nas épocas 2 e 3. Na época 4 o efeito do método de preparo deixa de existir.

O tratamento ER apresentou menores valores de RP das raízes em uma maior distância da planta, comparando com os demais tratamentos. Os menores valores de RP foram observados até a profundidade de 0,20 m do solo, aproximadamente. Os menores valores de RP no ER também demonstram o efeito benéfico da mobilização do solo que se deu a 1,0 m de largura da planta e 0,20 m de profundidade do solo (Figura 7).

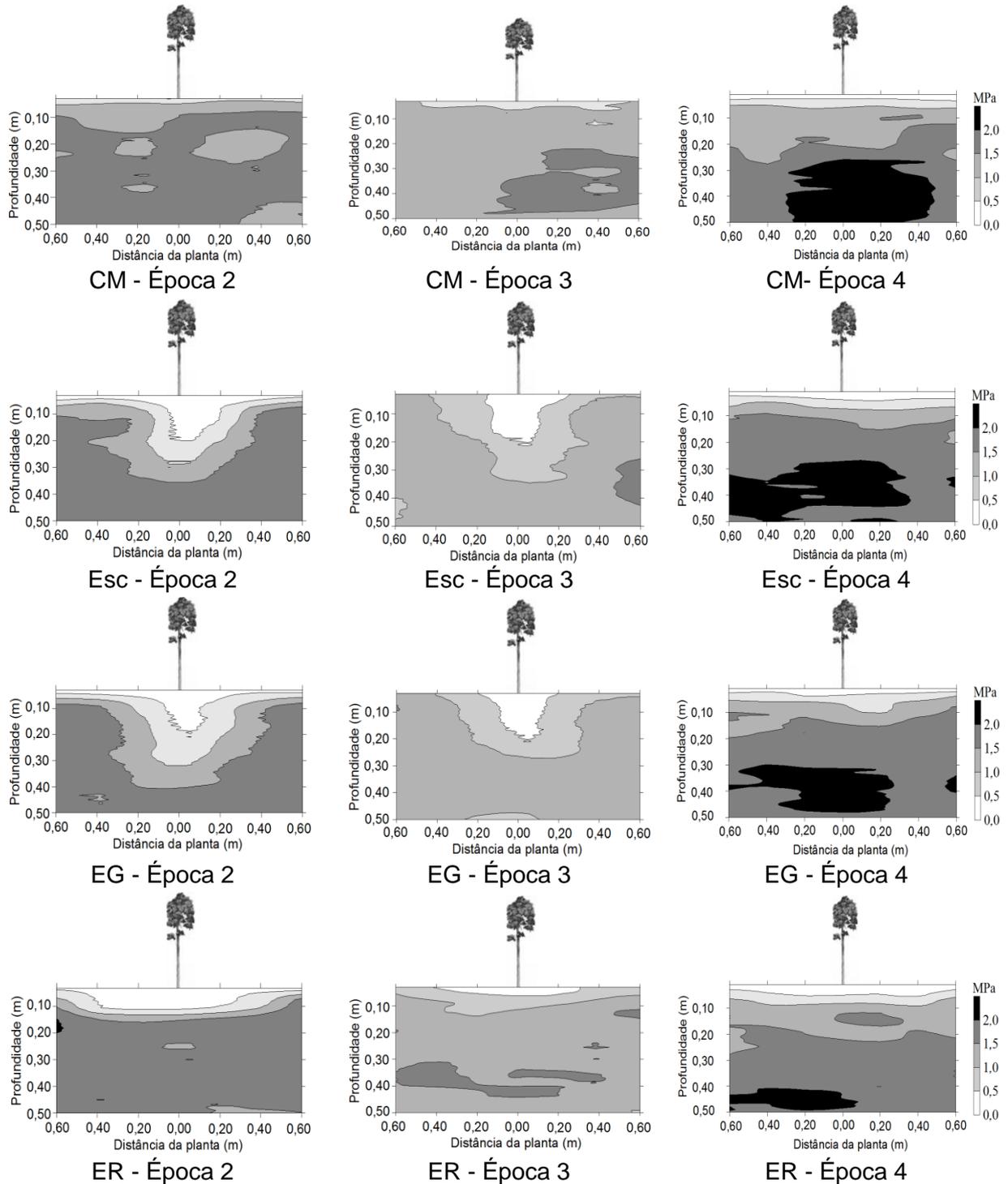


Figura 7 - Resistência do solo à penetração das raízes nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), nas épocas² 2, 3 e 4, em Santa Maria, RS.

² Épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

6.1.2.3 Distribuição do tamanho de agregados estáveis em água

Para os índices de agregação diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) não foi constatada interação entre método de preparo do solo e época (Tabela 16 e Apêndice G). O DMP, o qual é tanto maior quanto maior a percentagem de agregados grandes (CASTRO FILHO et al., 1998), variou de 2,80 a 4,16 mm. O DMG, o qual representa uma estimativa dos agregados de maior ocorrência (CASTRO FILHO et al., 1998), variou de 1,27 a 2,64 mm.

Não foi observada diferença estatística entre os tratamentos, entretanto, após o preparo do solo (época 2), o DMG nos tratamentos com revolvimento do solo reduziu de forma expressiva comparando com o tratamento sem revolvimento do solo (CM). A redução do DMG nos tratamentos com revolvimento do solo pode ser atribuído ao fato de que o revolvimento causa a desagregação das partículas do solo, transformando agregados de maiores tamanhos em menores. Marcolan e Anghinoni (2006) ressaltam que além das forças disruptivas da ação mecânica das máquinas agrícolas, o solo revolvido fica exposto à desagregação pelo impacto das gotas de chuva, acarretando em redução do DMG. Além disso, Theodoro et al. (2001) citam que o revolvimento do solo faz com que a oxidação dos compostos orgânicos seja maior, diminuindo a ação cimentante da matéria orgânica, a qual é umas das responsáveis pela estabilização dos agregados.

O DMG aumentou com o passar do tempo, atingindo valor médio estatisticamente igual ao valor observado antes do preparo do solo (época 1). Um dos fatores que pode ter contribuído para o aumento da agregação do solo e, conseqüentemente, para o aumento do DMG ao longo do tempo, foi o efeito do sistema radicular do eucalipto. Para Allison (1973) as plantas melhoram a agregação do solo porque possuem raízes finas que se ramificam pelo solo, pressionando-o e favorecendo a agregação. Além disso, pela exsudação fornecem alimento para os microrganismos da rizosfera, os quais também influenciam na agregação (ALLISON, 1973) pela liberação de produtos que agem na formação e estabilidade dos agregados (ROZANE et al., 2010; ZINN et al., 2011). A matéria orgânica do solo também pode ter contribuído para a maior agregação do solo ao longo dos anos (Tabela 4). Dessa forma, verificou-se que o plantio de eucalipto não degradou a

estrutura do solo, mas auxiliou na expressão da capacidade resiliente do solo em recuperar sua estrutura.

Ao longo do tempo, o DMP exibiu comportamento análogo ao DMG, reduzindo após o preparo do solo e aumentando até os 72 meses de idade do povoamento, igualando-se aos valores do DMP antes da aplicação dos tratamentos.

Tabela 16 - Diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado para os tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), nas épocas 1, 2, 3 e 4, em Santa Maria, RS.

Época*	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
Diâmetro médio geométrico (mm)					
1	2,19	2,57	2,52	2,54	2,45 A**
2	2,64	1,59	1,27	1,67	1,79 B
3	2,22	2,08	1,67	1,97	1,98 AB
4	2,53	2,47	2,12	2,61	2,43 A
Média	2,39	2,18	1,89	2,20	
Diâmetro médio ponderado (mm)					
1	3,75	4,13	4,02	4,16	4,02 A
2	4,16	3,35	2,80	3,19	3,38 B
3	3,84	3,69	3,36	3,63	3,63 AB
4	4,14	4,02	3,66	4,11	3,98 A
Média	3,97	3,80	3,46	3,77	

* Época 1: antes da aplicação dos tratamentos; épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

** Médias seguidas de letras iguais, sendo maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A correlação de Pearson entre matéria orgânica do solo e DMG nas épocas 1, 2, 3 e 4 foi, respectivamente, 0,046, 0,004, 0,016 e 0,474. A correlação entre matéria orgânica do solo e DMP foi, respectivamente, de 0,021, 0,001, 0,053 e 0,375, para as épocas 1, 2, 3 e 4. A correlação não foi significativa nas épocas estudadas, entretanto, aumentou consideravelmente 72 meses após a aplicação dos

tratamentos (época 4). Reichert et al. (2006) também não encontraram correlação significativa entre matéria orgânica com DMG e DMP, em um Planossolo. No entanto, conforme os autores, apesar da correlação não significativa, os compostos orgânicos participam das ligações entre partículas individuais do solo. Tisdall e Oades (1982) explicam que a correlação entre matéria orgânica e agregação nem sempre é observada porque: somente parte da matéria orgânica é responsável pela estabilização dos agregados; nem sempre os compostos orgânicos são os principais agentes cimentantes e principais atuantes no processo de estabilização dos agregados do solo e há um teor de carbono orgânico acima do qual não há nenhum novo aumento na agregação. Campos et al. (1999) também encontraram baixo coeficiente de correlação entre matéria orgânica do solo e DMG ($r = 0,04$), o qual foi atribuído à pequena variação no conteúdo de carbono do solo.

Em relação ao DMG e ao DMP na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, não foi observada interação entre método de preparo do solo e posição (linha e entrelinha de plantio) (Tabela 17 e Apêndice H).

Apenas na época 2 as médias de DMG e de DMP das posições diferiram entre si, apresentando menor valor na linha de plantio, refletindo o efeito do método de preparo do solo nesta posição. O preparo do solo, realizado na linha de plantio, resultou em agregados de menor tamanho devido à desagregação do solo proporcionado pelos implementos das máquinas agrícolas (MARCOLAN; ANGHINONI, 2006) e pela maior oxidação da matéria orgânica, a qual é agente cimentante (THEODORO et al., 2001), como citado anteriormente. Perrando (2008) também encontrou menores valores de DMG na linha de plantio, na profundidade de 0,05 m de um Argissolo com plantio de acácia-negra. De acordo com o autor, a formação de agregados maiores e mais estáveis na entrelinha se deu pelo não revolvimento do solo, que resultou em uma melhor estruturação edáfica.

Tabela 17 - Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Posição	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
DMG (mm)					
Época 2*					
L	2,64	1,59	1,27	1,67	1,79 B**
E	2,43	2,61	2,53	2,22	2,45 A
Média	2,53	2,10	1,90	1,94	
Época 3					
L	2,22	2,08	1,67	1,97	1,98
E	2,10	2,21	2,14	2,82	2,32
Média	2,16	2,14	1,90	2,40	
Época 4					
L	2,53	2,47	2,12	2,61	2,43
E	2,29	2,28	2,42	2,75	2,44
Média	2,41	2,37	2,27	2,68	
DMP (mm)					
Época 2					
L	4,16	3,35	2,80	3,19	3,38 B
E	3,96	4,12	4,11	3,83	4,00 A
Média	4,06	3,74	3,45	3,51	
Época 3					
L	3,84	3,69	3,36	3,63	3,63
E	3,82	3,96	3,75	4,45	3,99
Média	3,83	3,83	3,56	4,04	
Época 4					
L	4,14	4,02	3,66	4,11	3,98
E	3,82	3,90	3,97	4,25	3,98
Média	3,98	3,96	3,82	4,18	

* Épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

** Médias seguidas de letras iguais, sendo minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para a distribuição das classes de tamanho dos agregados estáveis em água, nas épocas 1, 2, 3 e 4, não foi constatada interação entre época e método de preparo do solo e as médias não diferiram entre os tratamentos. Por outro lado, em todas as épocas, ocorreu maior percentagem de agregados estáveis em água na classe de 8,00-4,76 mm (Figura 8 e Apêndice I e M), o que é benéfico para a estrutura do solo, visto que agregados maiores e mais estáveis são mais resistentes à erosão hídrica (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Após a aplicação dos tratamentos (época 2), observou-se uma redução na percentagem de agregados de maior tamanho (8,00-4,76 mm) e um aumento na percentagem de agregados menores (<0,25 m), em relação à condição inicial do solo (época 1). A redução da percentagem de agregados maiores após o preparo do solo pode ser atribuída ao efeito desagregante dos métodos de preparo do solo. Zinn et al. (2011) também evidenciaram o efeito do método de preparo do solo nos agregados, ao encontrar uma redução de cerca de 40% nos agregados de maior tamanho (2 e 8 mm), em Latossolos sob *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., comparando com a floresta nativa. Conforme os autores, a quebra dos agregados de maior diâmetro foi esperada após o manejo do solo, em função da sua maior porosidade, baixa tensão à força de desagregação e numerosos planos de fratura, resultando em aumento nas classes de menor diâmetro.

Nas épocas 3 e 4 pode-se verificar um aumento da percentagem de agregados da classe de 8,00-4,76 mm e uma redução da percentagem de agregados da classe menor que 0,25 mm, sugerindo melhoria na agregação do solo e, conseqüentemente, na qualidade da estrutura edáfica. Tisdall e Oades (1982) citam que os agentes envolvidos na agregação do solo são classificados em: transientes (principalmente polissacarídeos), temporários (como as raízes e hifas dos fungos, as quais estão associadas aos macroagregados) e persistentes (são os componentes aromáticos resistentes, associados com cátions metálicos polivalentes e fortemente adsorvidos a polímeros, constituindo a parte mais importante na formação de microagregados do solo). A ação conjunta destes agentes pode ter contribuído para o aumento da agregação do solo ao longo do tempo.

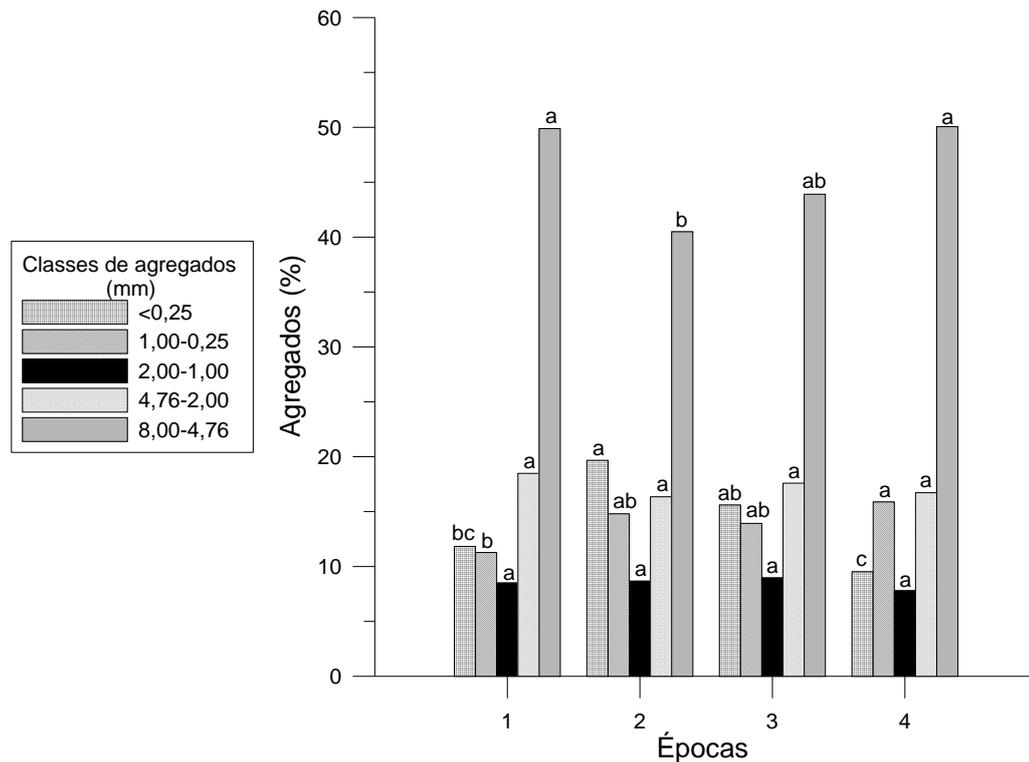


Figura 8 - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água³ em Argissolo Vermelho-Amarelo, nas épocas⁴ 1, 2, 3 e 4, em Santa Maria, RS.

Em relação à distribuição das classes de tamanho dos agregados estáveis em água das épocas 2, 3 e 4, na linha e na entrelinha de plantio, não ocorreu interação entre método de preparo do solo e posição (linha e entrelinha). Além disso, as médias de percentagem dos agregados estáveis em água dos tratamentos não diferiram. Ocorreu apenas diferença entre as médias das posições (Apêndices N e J, K, L para as épocas 2, 3 e 4, respectivamente e Figuras 9, 10 e 11 para as épocas 2, 3 e 4, respectivamente).

A maior percentagem de agregados foi observada na classe de 8,00 a 4,76 mm, tanto na linha como na entrelinha de plantio, nas épocas 2, 3 e 4. Na época 2 (Figura 9 e Apêndices J e N) ocorreu diferença significativa entre entrelinha e linha para as classes de 4,76-2,00 mm; 1,00-0,25 mm; e na classe <0,25 mm. Na classe de 4,76-2,00 mm foi observado maior percentagem de agregados na entrelinha. Nas classes de 1,00-0,25 mm e na classe <0,25 mm ocorreu maior percentagem de

³ Médias seguidas pela mesma letra, comparando cada classe de agregados entre épocas, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

⁴ Os dados das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

agregados na linha de plantio. A maior percentagem de agregados evidenciada nas menores classes, na linha de plantio, está de acordo com os menores valores de DMG encontrados nesta posição e confirma o efeito desagregante dos métodos de preparo do solo.

O efeito dos métodos de preparo do solo foi averiguado apenas na época 2. A partir da época 3 não foi mais constatada diferença significativa entre posição, sugerindo que ocorreu reconsolidação do solo. Ao longo do tempo pode-se observar que aumentou a percentagem de agregados estáveis em água na classe de 8,00-4,76 mm e diminuiu na classe <0,25 mm, tanto na linha como na entrelinha de plantio, sugerindo melhoria na agregação e, conseqüentemente na estrutura do solo.

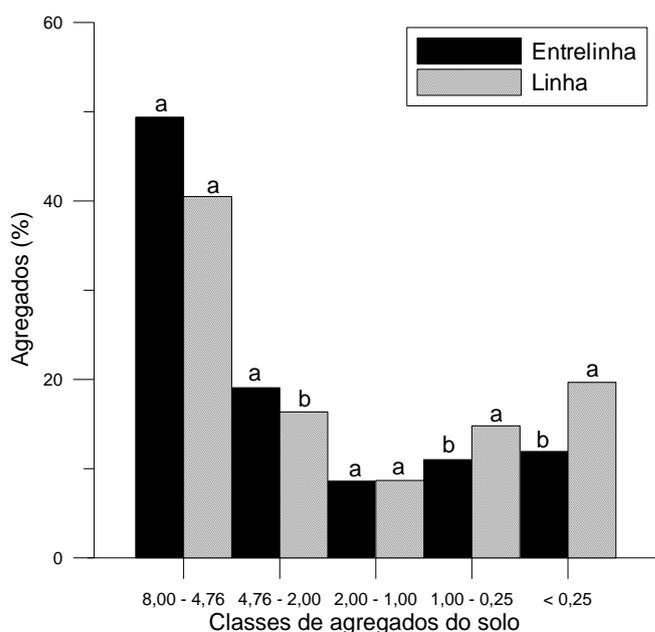


Figura 9 - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água, na linha e na entrelinha de plantio da época 2, em Santa Maria, RS⁵.

⁵ Médias seguidas pela mesma letra na linha e na entrelinha de cada classe de agregados, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Dados da época 2 foram obtidos por Prevedello (2008).

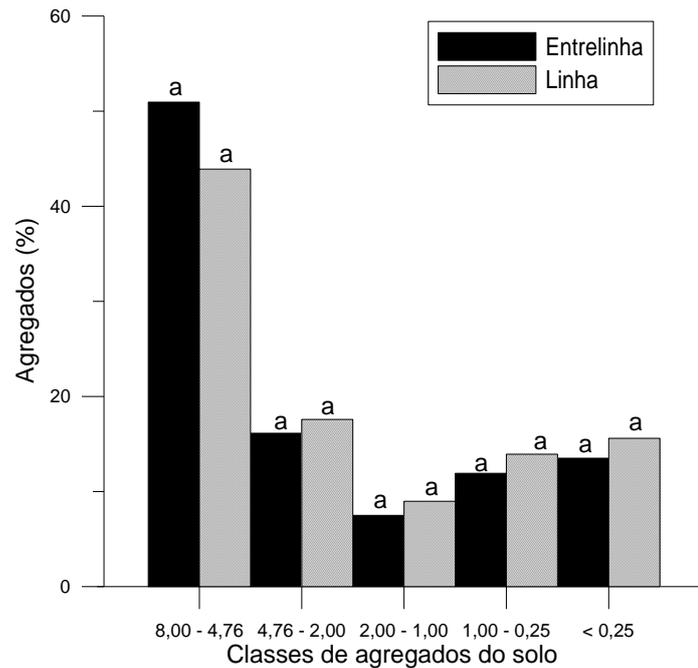


Figura 10 - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água, na linha e na entrelinha de plantio da época⁶ 3, em Santa Maria, RS.

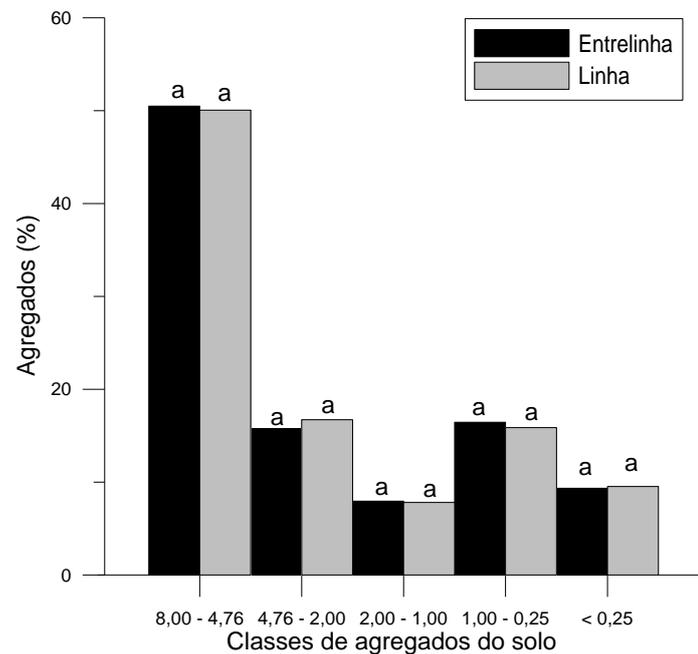


Figura 11 - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água, na linha e na entrelinha de plantio da época⁷ 4, em Santa Maria, RS.

⁶ Médias seguidas pela mesma letra na linha e na entrelinha de cada classe de agregados, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Dados da época 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

⁷ Médias seguidas pela mesma letra na linha e na entrelinha de cada classe de agregados, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

6.2 Avaliação do crescimento do povoamento de *Eucalyptus grandis*

6.2.1 Avaliações dendrométricas do *Eucalyptus grandis*

Aos três meses após o plantio, os tratamentos com revolvimento do solo apresentaram maior diâmetro a 10 cm de altura (d_{10}), mas o Esc e o EG não diferiram do CM. Aos 12 meses de idade, as árvores já possuíam diâmetro à altura do peito (DAP), o qual continuou sendo maior no tratamento ER e menor no CM, entretanto, o CM não diferiu do Esc e do EG (Tabela 18).

Aos três meses de idade do povoamento, os tratamentos com revolvimento do solo (ER, EG e Esc) exibiram maior altura em relação ao não revolvido (CM). Aos 12 meses, apenas o tratamento ER diferiu dos demais. Baptista (2008) também constatou o efeito do preparo do solo no crescimento de eucalipto estudando a influência da subsolagem do solo no crescimento inicial de *Eucalyptus saligna*, em Arroio dos Ratos-RS. O autor verificou que, aos 7 e aos 11 meses de idade do povoamento, as plantas das parcelas revolvidas pelo subsolador tiveram um crescimento em altura 45% superior quando comparada as árvores das parcelas do coveamento mecânico.

O maior crescimento das árvores em altura e em diâmetro nos tratamentos com revolvimento do solo pode ser atribuído ao fato de que a mobilização do solo proporciona melhores condições para o crescimento radicular e elimina a matocompetição. Gonçalves e Stape (2002) citam que o preparo do solo causa um aumento do espaço poroso e a redução da densidade do solo, favorecendo a movimentação de água e as trocas gasosas no sistema solo-planta-atmosfera, o que proporciona melhores condições para o estabelecimento e crescimento das plantas. Estudando o efeito da subsolagem em um solo Podzólico Bruno Acinzentado sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis*, em Santa Maria-RS, Finger et al. (1996) também encontraram maior crescimento inicial das árvores em solo revolvido, quando comparado ao não revolvido. Os autores constataram que o crescimento apresentado em solo subsolado, quando comparado com o valor em solo não subsolado, foi superior em mais de 50% quanto ao DAP e, em relação à altura, foi superior em mais de 35% chegando a alcançar 62% na idade de 24 meses. Além da

melhoria das propriedades físicas do solo, o maior crescimento em altura do eucalipto nos tratamentos com revolvimento do solo pode ter ocorrido devido a maior sobrevivência de árvores nestes tratamentos, evidenciando certa competição entre as árvores.

Tabela 18 - Diâmetro a 10 cm de altura, diâmetro à altura do peito, altura total e sobrevivência de *Eucalyptus grandis*, nos métodos de preparo: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Época (meses)*	Métodos de preparo do solo			
	CM	Esc	EG	ER
Diâmetro a 10 cm de altura da árvore (cm)				
3	1,14 b**	1,30 ab	1,31 ab	1,47 a
6	2,92 b	2,88 b	3,03 b	3,47 a
9	3,26 b	3,24 b	3,38 b	4,00 a
Diâmetro à altura do peito (cm)				
12	1,57 b	1,95 ab	2,06 ab	2,69 a
74	16,14 a	15,93 a	15,70 a	16,74 a
81	17,12 a	16,68 a	16,42 a	17,56 a
Altura total (m)				
3	0,80 b	1,03 a	1,01 a	1,07 a
6	1,83 b	1,95 b	1,99 ab	2,17 a
9	1,87 b	2,06 b	2,04 b	2,29 a
12	2,40 b	2,66 b	2,80 b	3,58 a
74	21,05 a	21,73 a	21,34 a	22,71 a
81	21,44 a	22,22 a	21,55 a	22,89 a
Sobrevivência (%)				
12	59 c (N = 1049)	82 ab (N = 1471)	87 ab (N = 1475)	91 a (N = 1516)
74	59 b (N = 985)	81 a (N = 1347)	82 a (N = 1373)	81 a (N = 1354)
81	59 b (N = 985)	81 a (N = 1345)	82 a (N = 1373)	81 a (N = 1354)

* Dados de diâmetro, altura e sobrevivência até os 12 meses foram obtidos por Prevedello (2008).

** Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. N = número de árvores por hectare.

Decorridos 74 e 81 meses de idade das árvores não ocorreu diferença estatística entre tratamento para DAP e altura total (Tabela 18). González et al. (2012) também observaram que os sistemas de manejo por eles estudados (com e sem revolvimento do solo) não afetaram o DAP em maiores idades (21, 38, 58, 98 e 120 meses após o plantio) de *Eucalyptus grandis*, em Rivera, Uruguai.

O comportamento do crescimento do eucalipto do presente estudo aos 74 e 81 meses de idade das árvores concorda com o descrito por Gonçalves (1995). Conforme Gonçalves (1995), apesar de o crescimento inicial de florestas de eucalipto estabelecidas no sistema de cultivo mínimo do solo geralmente ser mais lento e heterogêneo, o vigor e a homogeneidade dos povoamentos se restabelecem alguns meses após o plantio, dependendo da qualidade do sítio. Stape et al. (2002), estudando o efeito de sistemas de limpeza de terreno, preparo de solo e fertilização em dois sítios com solos e produtividades distintas na região de Entre Rios-BA, constataram efeito positivo do preparo de solo e da fertilização no crescimento inicial do eucalipto até os 12 meses de idade. Já Dedeczek et al. (2007) verificaram que o desenvolvimento de acácia-negra em altura e DAP foi mais lento em preparo reduzido até 24 meses após o plantio. Entretanto, Poynton (1965) observou que o desenvolvimento de *Eucalyptus saligna* aos 6 anos após o plantio foi diretamente influenciado pela intensidade de revolvimento do solo, no Norte de Transvaal, na África. Neste estudo, a aração e gradagem do solo em toda área propiciaram maior crescimento às árvores do que o sistema de coroa, no qual as árvores eram menos vigorosas e com tamanhos irregulares.

A sobrevivência das árvores variou de 59 a 91%, sendo que o CM exibiu menor sobrevivência em todas as épocas estudadas (Tabela 18), corroborando com Finger et al. (1996) e Gatto et al. (2003). Finger et al. (1996) encontrou alta porcentagem de sobrevivência em plantios de eucalipto, mas observou que o tratamento com o solo subsolado teve maior porcentagem de árvores vivas (98,81%) do que o tratamento apenas com coveamento manual (92,86%). Gatto et al. (2003) também encontraram maior sobrevivência das árvores à medida que se intensificou o preparo do solo, com valores que variaram de 71,2 a 88,5%.

Aos 12 meses de idade das árvores, a área basal apresentou diferença entre tratamentos, onde as árvores cultivadas sob o tratamento ER exibiram maior área basal quando comparado com as árvores submetidas ao CM. Aos 74 meses após a implantação do experimento, os tratamentos não diferiram para área basal por

hectare (Tabela 19), corroborando com o descrito por Gonçalves (1995), o qual cita que ao longo do tempo as árvores estabelecem a homogeneidade de crescimento.

O tratamento ER apresentou maior volume total por hectare aos 12 meses, mas não diferiu do Esc e do EG (Tabela 19), resultado do maior crescimento em diâmetro deste tratamento (Tabela 18). Rodigheri e Pinto (2001) também encontraram maiores volumes de madeira nos tratamentos com preparo do solo, estudando o desempenho de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna*, em Santana do Itararé-PR.

Aos 74 meses de idade das árvores não foi verificada diferença de volume das árvores entre os tratamentos (Tabela 19). Resultado análogo foi obtido por González et al. (2012), os quais não encontraram diferença de volume entre diferentes métodos de preparo de um Latossolo aos 21, 38 e 58 meses após o plantio. Porém, os autores averiguaram diferença aos 98 e 120 meses após o plantio, com menor volume no tratamento coveamento e herbicida na entrelinha, fato justificado por haver menor número de árvores remanescentes neste tratamento.

Tabela 19 - Área basal por hectare, volume por árvore, volume total por hectare, volume comercial por árvore até a altura com diâmetro com casca de 8,0 cm (V_8) e V_8 total por hectare, do povoamento de *Eucalyptus grandis*, em Santa Maria, RS.

Época (meses)*	Métodos de preparo do solo***				Total
	CM	Esc	EG	ER	
Área basal por hectare ($m^3 ha^{-1}$)					
12	0,31 c**	0,59 b	0,65 b	1,09 a	0,70
74	23,72 a	30,08 a	30,76 a	32,40 a	29,65
Volume total por hectare ($m^3 ha^{-1}$)					
12	1,07 b	1,99 ab	2,23 ab	4,76 a	2,66
74	210,91 a	265,86 a	268,26 a	288,00 a	258,26
V_8 total por hectare ($m^3 ha^{-1}$)					
74	91,23 a	116,56 a	117,05 a	125,14 a	112,49

* Dados para o cálculo de área basal e volume até os 12 meses de idade foram obtidos por Prevedello (2008).

**Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

*** Métodos de preparo do solo: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER).

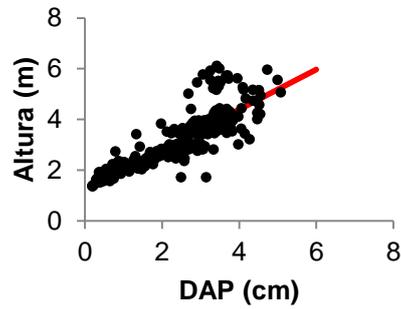
Na tabela 20 são apresentadas as estimativas dos coeficientes (b_0 e b_1) e o coeficiente de determinação (R^2) dos modelos testados para descrever a relação hipsométrica de *Eucalyptus grandis*. Os melhores modelos de relação hipsométrica para as idades de 12 e 74 meses foram o modelo 1 e 2, respectivamente, devido ao maior R^2 e melhor distribuição gráfica dos resíduos (Figuras 12 a 19). Os modelos 1 para 12 meses e 2 para os 74 meses apresentaram distribuição dos resíduos mais uniforme em relação à linha zero, indicando maior precisão na estimativa. Os modelos selecionados, supracitados, foram utilizados na análise de covariância.

Tabela 20 - Modelos matemáticos ajustados para *Eucalyptus grandis*, em Santa Maria, RS.

Época (meses)		Modelo	R^2
12*	1	$h = 1,26 + 0,79 * DAP$	0,75
	2	$h = 3,70 - 0,88 * DAP^{-1}$	0,40
	3	$h^{-1} = 0,27 + 0,14 * DAP^{-1}$	0,67
	4	$h = 1,97 + 0,17 * DAP^2$	0,72
74	1	$\ln(h) = 1,10 + 0,72 * \ln(DAP)$	0,90
	2	$h = -11,06 + 12,17 * \ln(DAP)$	0,92
	3	$h^{-1} = 0,01 + 0,50 * DAP^{-1}$	0,91
	4	$\ln(h) = 3,58 - 7,20 * DAP^{-1}$	0,90

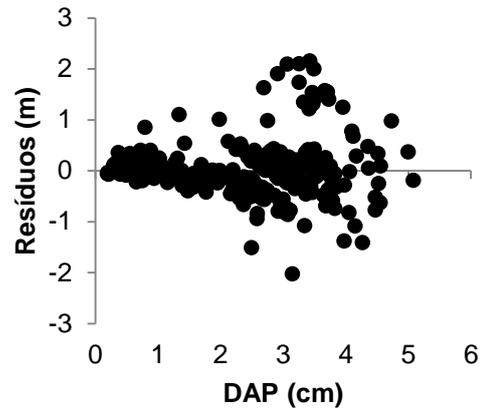
*Dados de DAP e altura aos 12 meses foram obtidos por Prevedello (2008).

Modelo 1



— Valores estimados
• Valores observados

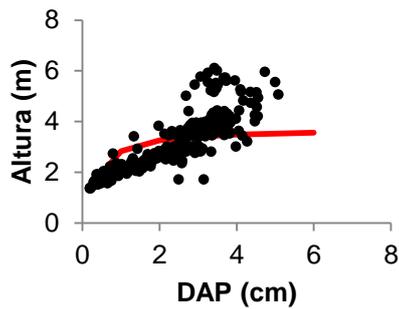
a



b

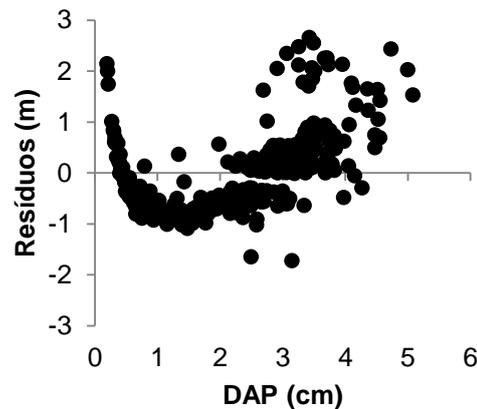
Figura 12 - Relação hipsométrica do modelo 1 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 12 meses⁸.

Modelo 2



— Valores estimados
• Valores observados

a



b

Figura 13 - Relação hipsométrica do modelo 2 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 12 meses⁸.

⁸ Dados de DAP e altura aos 12 meses foram obtidos por Prevedello (2008).

Modelo 3

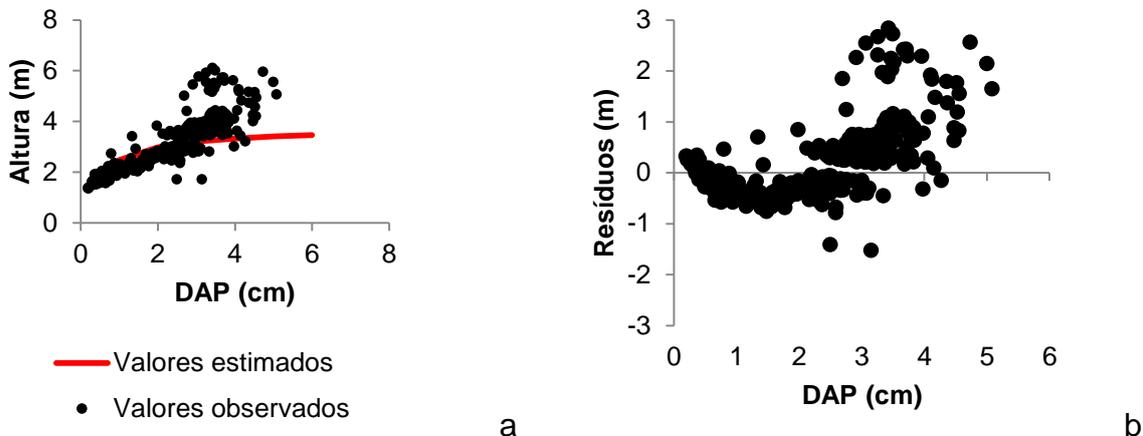


Figura 14 - Relação hipsométrica do modelo 3 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 12 meses⁹.

Modelo 4

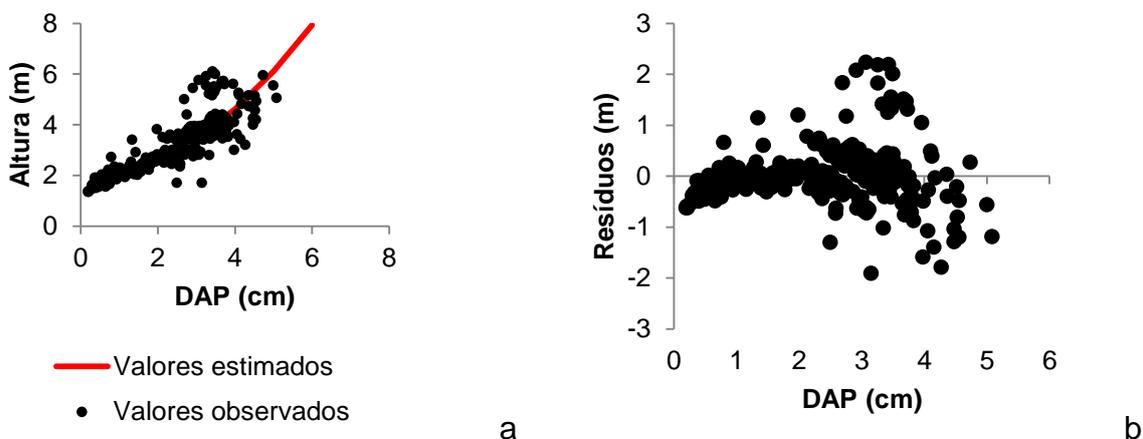
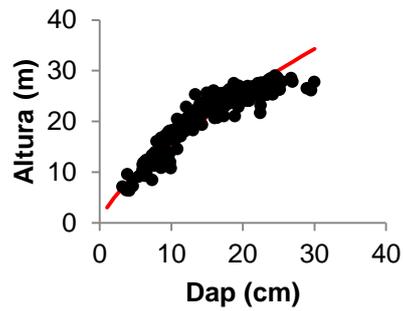


Figura 15 - Relação hipsométrica do modelo 4 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 12 meses⁹.

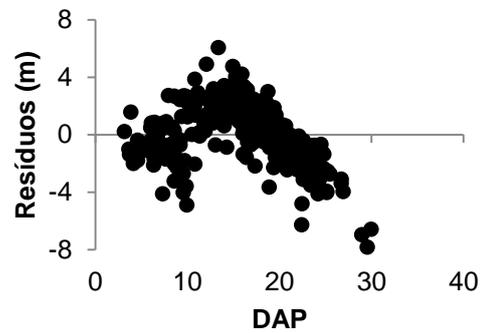
⁹ Dados de DAP e altura aos 12 meses foram obtidos por Prevedello (2008)

Modelo 1



● Valores observados
— Valores estimados

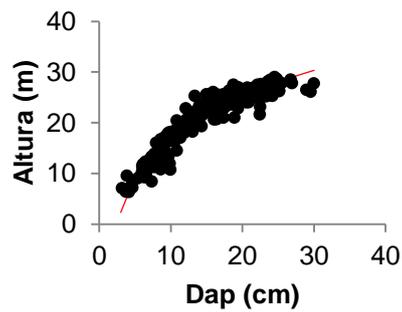
a



b

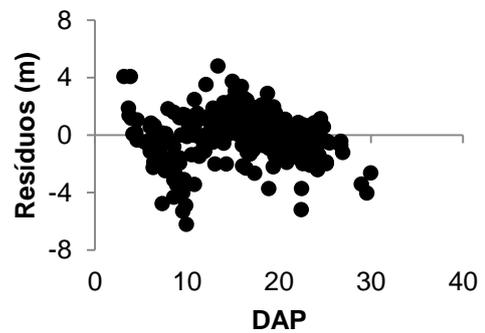
Figura 16 - Relação hipsométrica do modelo 1 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 74 meses.

Modelo 2



● Valores observados
— Valores estimados

a



b

Figura 17 - Relação hipsométrica do modelo 2 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 74 meses.

Modelo 3

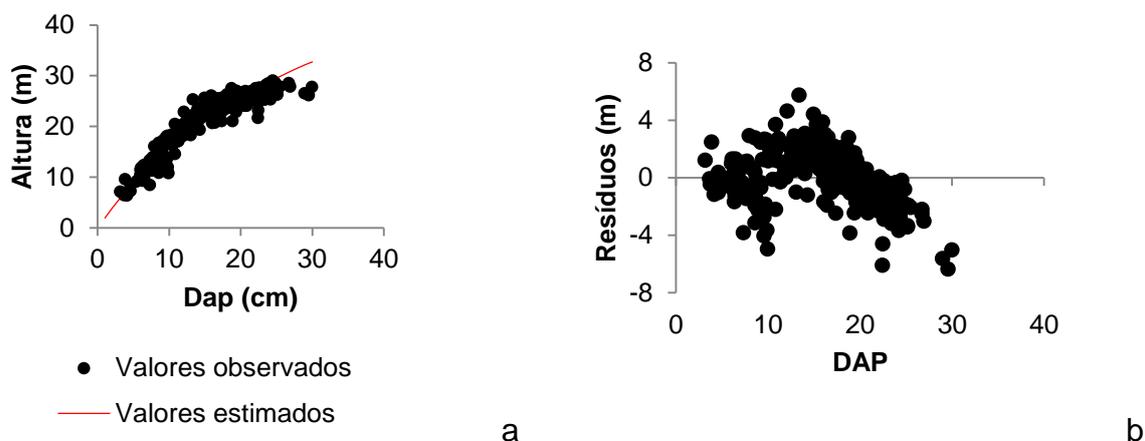


Figura 18 - Relação hipsométrica do modelo 3 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 74 meses.

Modelo 4

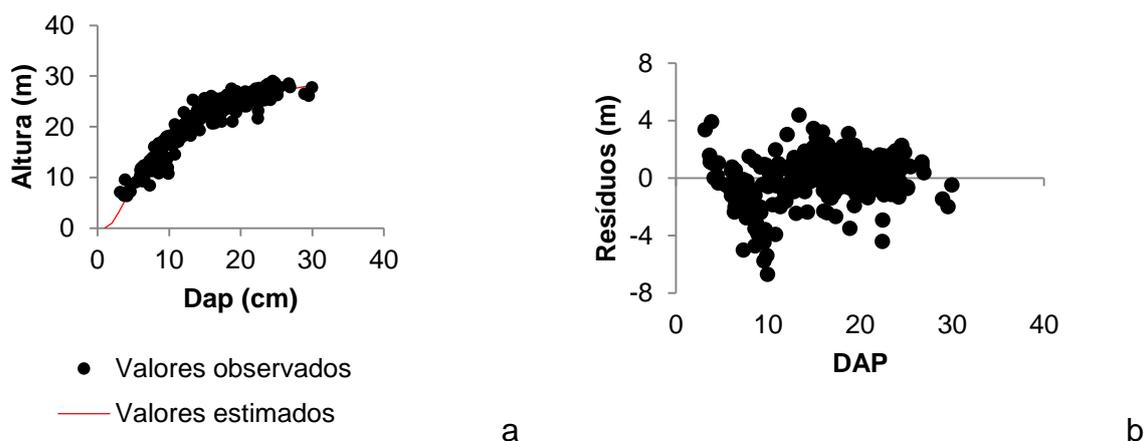


Figura 19 - Relação hipsométrica do modelo 4 (a) e distribuição gráfica dos resíduos (b), em metros (m), em função do DAP para a altura total aos 74 meses.

Na análise de covariância, primeiro testa-se a hipótese da não diferença de inclinação (SCHNEIDER et al., 2009). Aos 12 meses de idade, a inclinação do tratamento CM diferiu do tratamento ER e não diferiu do Esc e do EG (Tabela 21). O CM também diferiu em nível do tratamento ER e não diferiu do Esc e EG (Tabela 22).

A partir da análise de covariância foram determinados dois grupos, sendo um composto pelo tratamento ER e outro pelos tratamentos Esc, EG e CM (Figura 20). O tratamento ER apresentou maiores alturas para os mesmos diâmetros dos tratamentos CM, Esc e EG, o que pode indicar que no tratamento ER há certa competição entre as árvores, comparando com os outros tratamentos. A competição resultante da maior sobrevivência de árvores no tratamento ER (Tabela 18) explica as maiores alturas encontrada neste tratamento (Figura 20).

Tabela 21 - Análise de covariância para o modelo $h = b_0 + b_1 * \text{DAP}$ para *Eucalyptus grandis* com 12 meses de idade, nos tratamentos covemente manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	4	274,12	68,53	273,17	<0,0001
DAP	1	264,33	264,33	1053,66	<0,0001
DAP*Tratamento	3	9,78	3,26	13,00	<0,0001
Erro	317	79,53	0,25		
Total	321	353,64			

R ² = 0,78					
Parâmetro	Coefficiente	Erro padrão	Valor de t	Probabilidade	
Intercepto	1,35	0,06	20,96	<0,0001	
DAP	0,70	0,04	17,24	<0,0001	
DAP*Esc	-0,01	0,04	-0,33	0,7379	
DAP*EG	0,01	0,04	0,19	0,8501	
DAP*ER	0,14	0,04	3,81	0,0002	
DAP*CM	0,00	-	-	-	

Tabela 22 - Análise de covariância para o modelo $h = b_0 + b_1 * DAP$ para *Eucalyptus grandis* com 12 meses de idade, nos tratamentos covemente manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	4	271,84	67,96	263,38	<0,0001
DAP	1	264,33	264,33	1024,39	<0,0001
Tratamento	3	7,51	2,50	9,71	<0,0001
Erro	317	81,80	0,26		
Total	321	353,64			

R ² = 0,77				
Parâmetro	Coefficiente	Erro padrão	Valor de t	Probabilidade
Intercepto	1,27	0,07	14,65	<0,0001
DAP	0,74	0,03	28,72	<0,0001
Esc	-0,04	0,09	-0,49	0,6228
EG	0,01	0,09	0,12	0,9052
ER	0,34	0,09	3,71	0,0002
CM	0,00	-	-	-

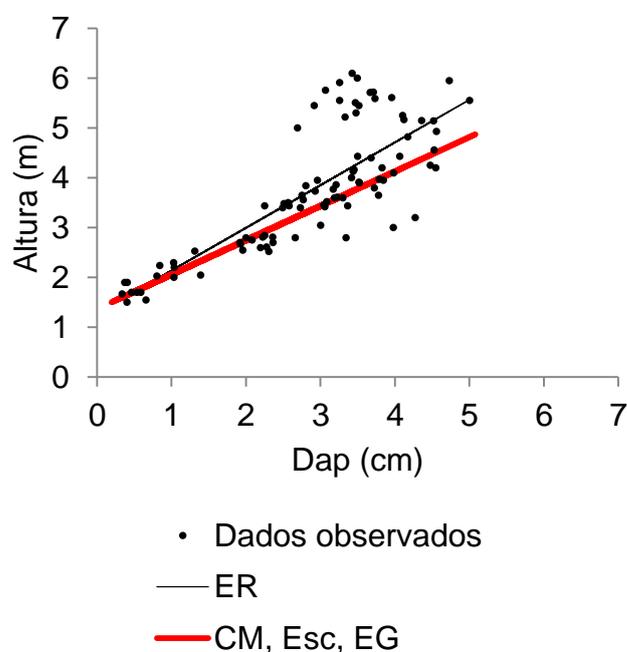


Figura 20 - Relação hipsométrica de *Eucalyptus grandis* aos 12 meses¹⁰ após o plantio, em Santa Maria, RS.

¹⁰ Dados de altura e DAP aos 12 meses foram obtidos por Prevedello (2008).

Por meio da análise de covariância do modelo $h = b_0 + b_1 \ln(\text{DAP})$ para as árvores com 74 meses de idade, averiguou-se que o tratamento ER diferiu em inclinação e nível do CM, porém, não diferiu do Esc e EG. Dessa forma, foram definidos dois grupos, sendo um o CM e outro os tratamentos Esc, EG e ER (Tabelas 23 e 24).

No tratamento CM foi observada menor competição entre as árvores, a qual pode ser evidenciada pelo fato de que para um mesmo DAP, os tratamentos Esc, EG e ER apresentaram altura um pouco maior que o CM. A menor densidade de árvores no CM (Tabela 18) possibilitou que árvores tivessem menor competição e maior disponibilidade de água, luz e nutrientes, favorecendo o crescimento em diâmetro. Além disso, a menor densidade de árvores permite maior crescimento da copa e, conseqüentemente, maior crescimento do DAP (Figura 21). Monte et al. (2009) também observaram que maior densidade de árvores proporcionou maiores alturas de *Eucalyptus grandis*, pela maior competição entre elas e por esta espécie ser altamente exigente em luz.

Tabela 23 - Análise de covariância para o modelo $h = b_0 + b_1 \ln(\text{DAP})$ para *Eucalyptus grandis* com 74 meses de idade, nos tratamentos covemente manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	4	9022,76	2255,69	925,59	<0,0001
Ln (DAP)	1	8994,84	8994,84	3690,90	<0,0001
Tratamento	3	27,92	9,31	3,82	0,0104
Erro	307	748,17	2,44		
Total	311	9770,93			

R ² = 0,91					
Parâmetro	Coefficiente	Erro padrão	Valor de t	Probabilidade	
Intercepto	-11,05	0,55	-20,04	<0,0001	
Ln (DAP)	12,23	0,21	59,47	<0,0001	
Ln (DAP)*CM	-0,29	0,10	-3,04	0,0026	
Ln (DAP)*Esc	-0,01	0,09	-0,12	0,9025	
Ln (DAP)*EG	-0,04	0,09	-0,48	0,6350	
Ln (DAP)*ER	0,00	-	-	-	

Tabela 24 - Análise de covariância para o modelo $h = b_0 + b_1 \ln(\text{DAP})$ para *Eucalyptus grandis* com 74 meses de idade, nos tratamentos covemente manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Modelo	4	9016,94	2254,23	917,85	<0,0001
Ln (DAP)	1	8994,84	8994,84	3662,39	<0,0001
Tratamento	3	22,10	7,37	3,00	0,0309
Erro	307	753,99	2,46		
Total	311	9770,93			

$R^2 = 0,92$				
Parâmetro	Coefficiente	Erro padrão	Valor de t	Probabilidade
Intercepto	-10,76	0,58	-18,49	<0,0001
Ln (DAP)	12,13	0,20	60,11	<0,0001
CM	-0,73	0,26	-2,77	0,0059
Esc	-0,07	0,24	-0,27	0,7893
EG	-0,17	0,24	-0,69	0,4901
ER	0,00	-	-	-

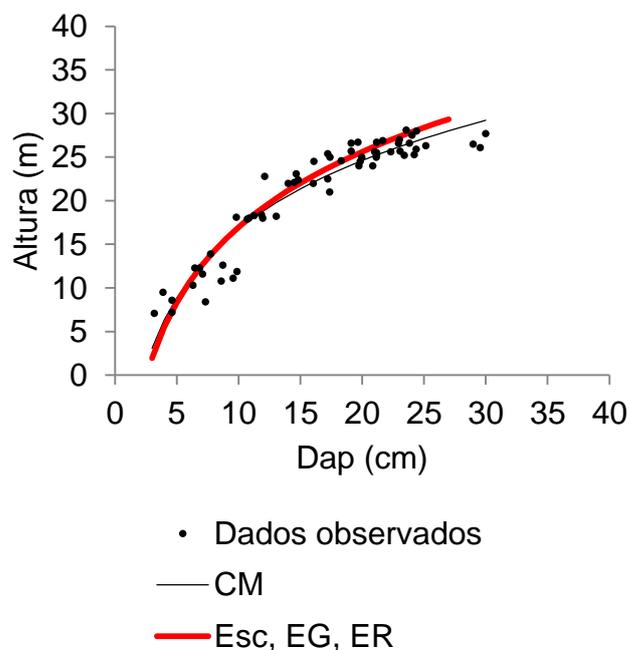


Figura 21 - Relação hipsométrica de *Eucalyptus grandis* aos 74 meses após o plantio, em Santa Maria, RS.

6.2.2 Avaliação do sistema radicular do *Eucalyptus grandis*

O método de preparo do solo teve maior efeito na distribuição do sistema radicular apenas nas épocas iniciais de desenvolvimento do eucalipto (Figuras 22, 23, 24 e 25, Apêndice O e Anexo C).

Aos 8 meses, o tratamento ER (Figura 25) apresentou maior abundância de raízes secundárias e maior volume de solo explorado por elas, na maioria das repetições. Porém, no tratamento ER ocorreu menor desenvolvimento da raiz principal quando comparado com os tratamentos Esc e EG. O preparo do solo feito em uma largura de 1,0 m na linha de plantio pode ter favorecido a distribuição radicular em um maior volume de solo no tratamento ER. Além disso, a menor densidade, maior macroporosidade e porosidade total do solo do tratamento ER (Tabelas 7, 8 e 10 respectivamente para densidade, macroporosidade e porosidade total do solo) podem ter influenciado para a melhor distribuição das raízes no perfil analisado.

O efeito da densidade do solo no crescimento radicular também foi evidenciado por Lima et al. (2006), os quais avaliaram o desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urograndis* em solo compactado e verificaram que com o aumento da densidade do solo ocorreu redução no alongamento da raiz principal. Conforme os autores, possivelmente a redução da expansão do sistema radicular ocorre devido à baixa difusão de oxigênio, em razão do aumento na densidade do solo. Quando a concentração de O₂ é muito baixa, pode ocorrer redução na pressão de turgescência da célula, ou mesmo maior resistência da parede celular ao alongamento. Paulino et al. (2003) estudaram o sistema radicular de acácia-negra (*Acacia mearnsii*) de três anos de idade, na linha e na entrelinha de plantio, e também observaram que o preparo do solo favoreceu o crescimento das raízes. Utilizando o método do perfil de Böhm (BÖHM, 1979), os autores verificaram que na linha de plantio, onde foi feita subsolagem, as propriedades físicas do solo eram mais adequadas (maior porosidade e menor densidade do solo), favorecendo o desenvolvimento radicular.

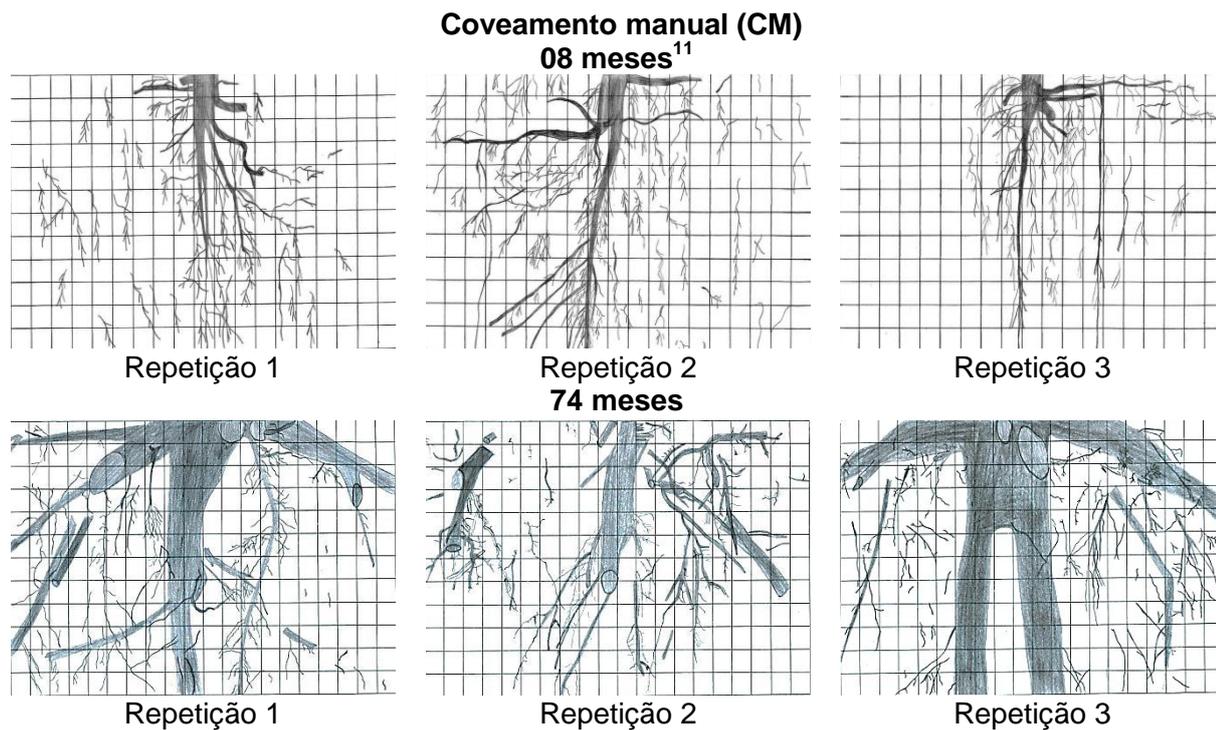


Figura 22 - Distribuição do sistema radicular de *Eucalyptus grandis* no perfil¹², no tratamento CM aos 08 e 74 meses após o plantio, em Santa Maria, RS.

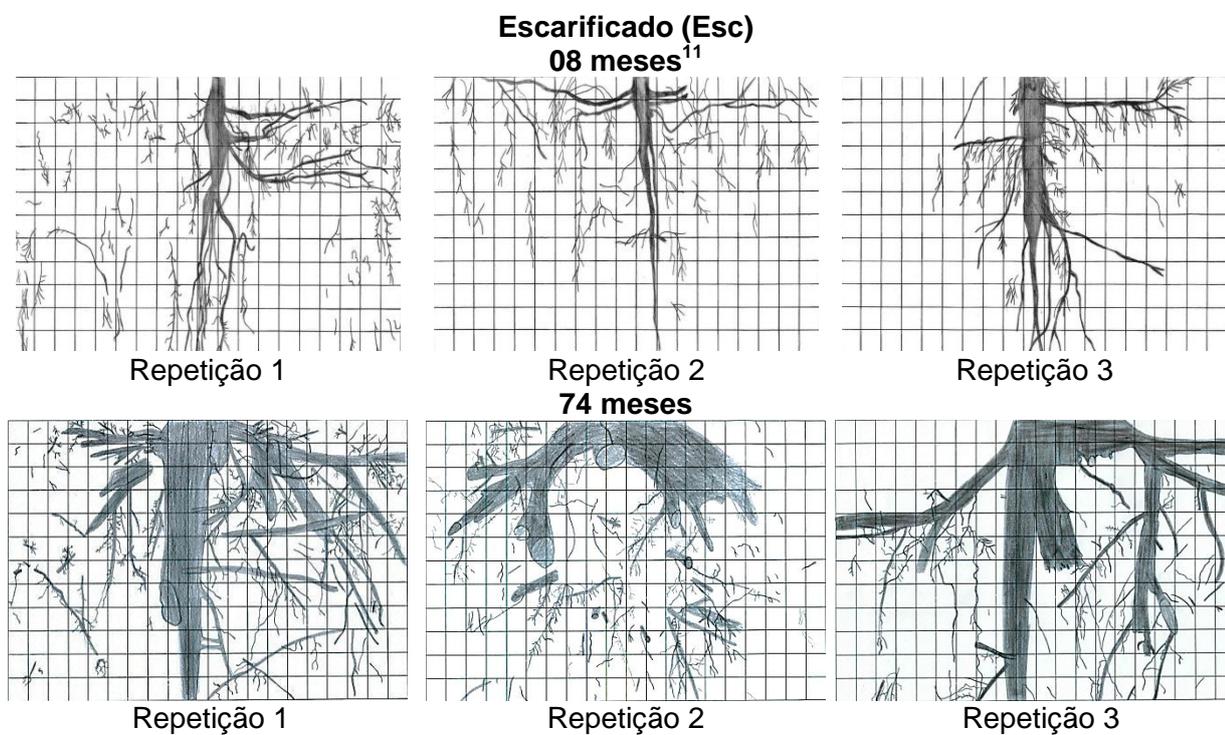


Figura 23 - Distribuição do sistema radicular de *Eucalyptus grandis* no perfil¹², no tratamento Esc aos 08 e 74 meses após o plantio, em Santa Maria, RS.

¹¹ A avaliação do sistema radicular aos 08 meses foi realizada por Prevedello (2008).

¹² Cada quadricula tem lado de 5 cm.

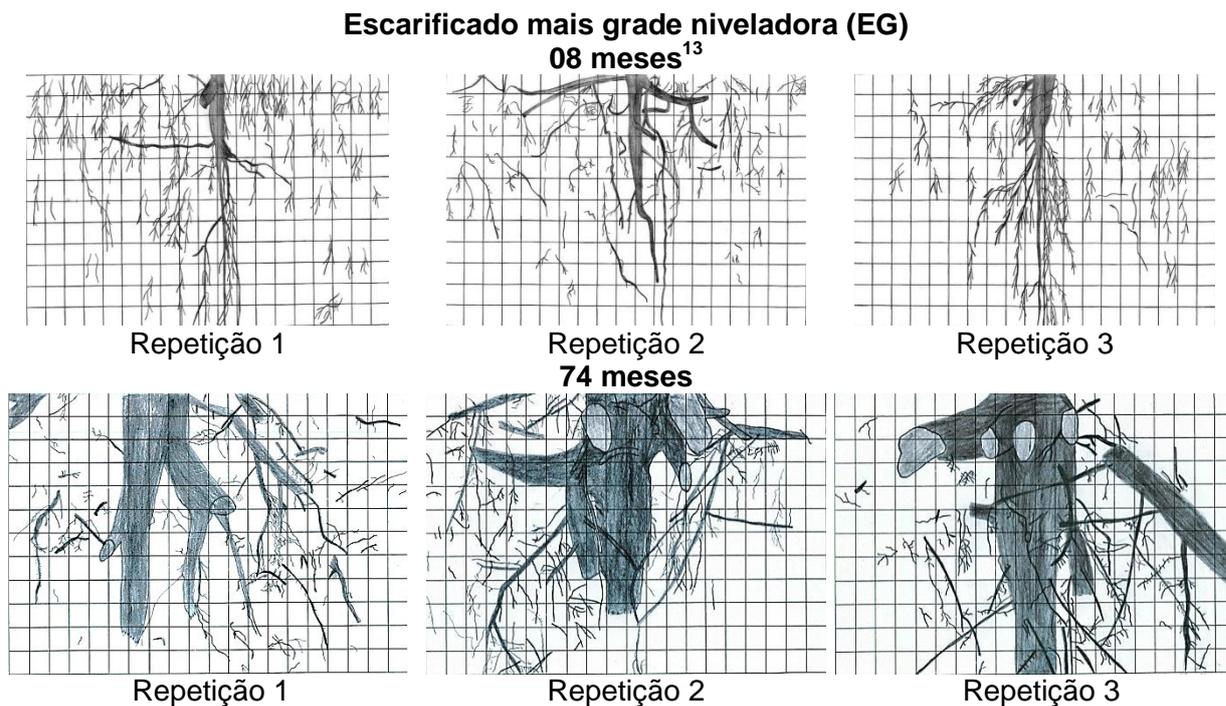


Figura 24 - Distribuição do sistema radicular de *Eucalyptus grandis* no perfil¹⁴ no tratamento EG niveladora aos 08 e 74 meses após o plantio, em Santa Maria, RS.

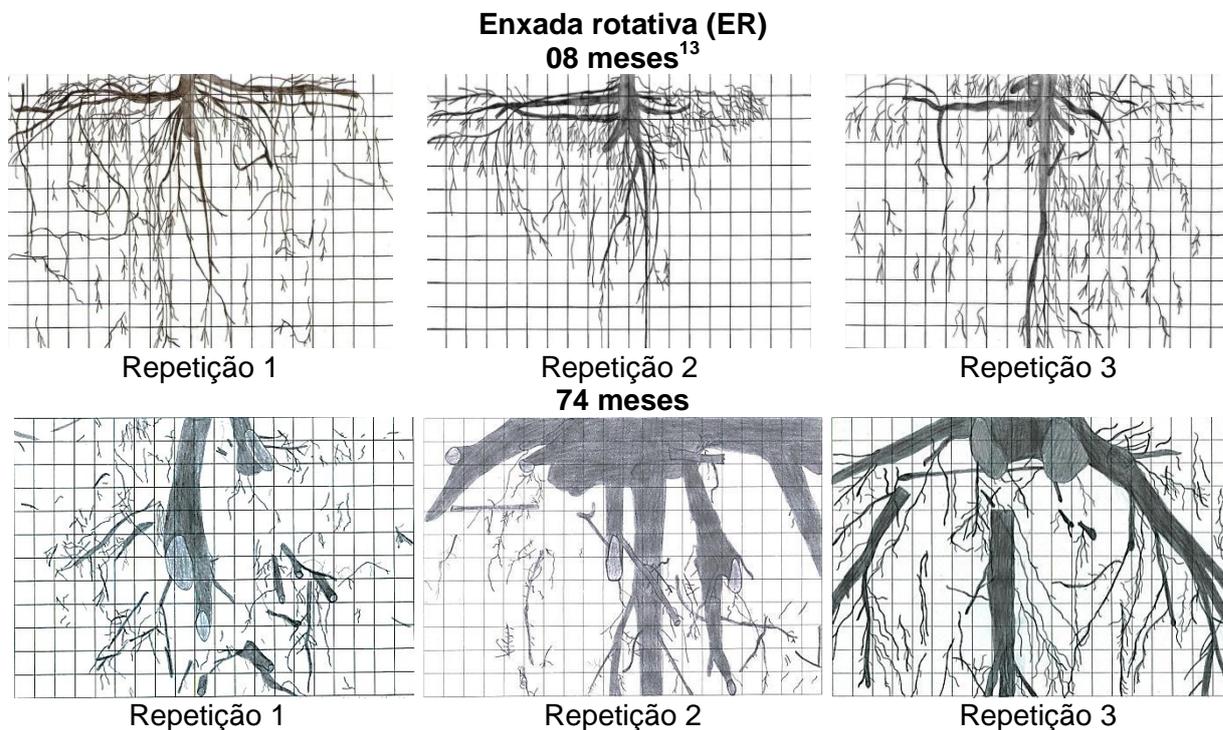


Figura 25 - Distribuição do sistema radicular de *Eucalyptus grandis* no perfil¹⁴ no tratamento ER aos 08 e 74 meses, em Santa Maria, RS.

¹³ A avaliação do sistema radicular aos 08 meses foi realizada por Prevedello (2008).

¹⁴ Cada quadricula tem lado de 5 cm.

O melhor desenvolvimento radicular ocorrido no tratamento ER aos 8 meses possivelmente contribuiu para o maior crescimento em altura e diâmetro do eucalipto neste tratamento (Tabela 18). O maior volume de solo ocupado pelas raízes permite que as plantas utilizem os nutrientes localizados em maior distância delas, favorecendo seu crescimento.

Aos 8 meses, os tratamentos Esc e EG apresentaram boa distribuição das raízes secundárias e não foi observado desvio da raiz principal, exceto para a repetição 3 do Esc. Já o CM apresentou menor desenvolvimento das raízes secundárias, exceto na repetição 2 onde as raízes secundárias tiveram melhor distribuição radicular. Tavares Filho et al. (2001) citam que o sistema plantio direto (CM) pode causar a compactação superficial do solo, devido ao não-revolvimento do solo e ao tráfego de máquinas agrícolas utilizados no plantio, tratos culturais e colheita. Como consequência da compactação, há aumento da resistência à penetração das raízes e redução da porosidade, da continuidade de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água, reduzindo o crescimento, o desenvolvimento e afetando a arquitetura radicular das plantas.

Aos 74 meses de idade do eucalipto não foi possível encontrar a raiz principal da repetição 2 do CM, 2 do Esc e 1 da ER. A repetição 3 do covimento manual apresentou bifurcação da raiz principal abaixo de 0,25 m. O EG apresentou raiz principal mais grossa que os demais tratamentos, entretanto, o crescimento em altura e diâmetro deste tratamento não diferiu dos demais.

6.3 Correlação entre propriedades do solo e variáveis dendrométricas do *Eucalyptus grandis*

Na condição 1, que teve a finalidade de verificar a influência de propriedades do Argissolo no crescimento inicial do eucalipto, não ocorreu correlação significativa entre propriedades do solo e variáveis dendrométricas (Tabela 25). Para esta condição foi observada correlação significativa e negativa entre densidade com macroporosidade e porosidade total e positiva entre densidade e microporosidade, o que se justifica pelo fato de que o aumento da densidade do solo causa redução de macroporos e aumento de microporos. Além disso, também foi encontrada

correlação significativa entre macroporosidade com microporosidade e porosidade total do solo e entre diâmetro e altura das árvores. Schiavo e Colodoro (2012) averiguaram que, para a densidade do solo, a correlação foi positiva com a microporosidade ($r=0,61$) e negativa com a macroporosidade ($r=-0,80$) e com a porosidade total ($r=-0,37$). Já a porosidade total revelou correlação positiva ($r=0,66$) com a macroporosidade do solo, corroborando com o presente estudo.

Na condição 2 foi constatada correlação negativa e significativa entre densidade com macroporosidade e porosidade total. Houve também correlação positiva e significativa entre macroporosidade com porosidade total e altura com o DAP das árvores (Tabela 25). Corroborando com estes resultados, Otegbeyea e Samarawirab (1992) e Ginwal (2009) encontraram correlação positiva e significativa entre DAP e altura de eucalipto. Otegbeyea e Samarawirab (1992) encontraram correlação de 0,70 estudando *Eucalyptus camaldulensis* de 18 anos, no Norte da Nigéria. Já Ginwal (2009) observou correlação de 0,91 estudando *Eucalyptus tereticornis* de três anos, na Índia.

Na condição 2 ocorreu correlação entre variáveis de solo e de crescimento do eucalipto. A área basal (G) exibiu correlação negativa e significativa com a densidade do solo, ou seja, um aumento de densidade do solo pode causar redução da área basal e, conseqüentemente, da produtividade florestal. Com a macroporosidade e porosidade total, a área basal exibiu correlação positiva e significativa, o que sugere que o aumento da porosidade do solo causa aumento da área basal (Tabela 25). Rigatto et al. (2005) também encontraram efeitos negativos da densidade do solo e positivos da porosidade total no crescimento das árvores. Analisando os efeitos dos atributos do solo (Latosolo e Cambissolo) sobre a produtividade de *Pinus taeda* L., em Telêmaco Borba, Paraná, os autores averiguaram que a densidade do solo correlacionou-se de forma negativa com o crescimento em altura, o que significa que o aumento dos resultados dessa variável reduz o crescimento em altura. Entretanto, a porosidade total correlacionou-se positivamente com o crescimento em altura. Cavichiollo et al. (2005) também constataram correlação positiva entre porosidade total e incremento em altura, estudando o efeito do revolvimento do solo nas entrelinhas da rebrota de *Eucalyptus saligna* Smith, em São Miguel Arcanjo, São Paulo.

Tabela 25 - Correlação de Pearson e significância para diâmetro a 10 cm de altura (d_{10}), diâmetro à altura do peito (DAP), altura (h), área basal (G), densidade do solo (ρ), macroporosidade (macro), microporosidade (micro), porosidade total (Pt) e matéria orgânica do solo (MOS), para as condições 1 e 2, em Santa Maria, RS.

Condição 1***								
	d_{10}	h	ρ	Macro	Micro	Pt	MOS	
d_{10}	1	0,866**	-0,451 ^{ns}	0,543 ^{ns}	-0,300 ^{ns}	0,558 ^{ns}	0,558 ^{ns}	
h	-	1	-0,521 ^{ns}	0,502 ^{ns}	-0,234 ^{ns}	0,530 ^{ns}	0,387 ^{ns}	
ρ	-	-	1	-0,915**	0,675*	-0,885**	0,147 ^{ns}	
Macro	-	-	-	1	-0,717**	0,974**	-0,051 ^{ns}	
Micro	-	-	-	-	1	-0,542 ^{ns}	0,296 ^{ns}	
Pt	-	-	-	-	-	1	0,034 ^{ns}	
Condição 2								
	DAP	h	G	ρ	Macro	Micro	Pt	MOS
DAP	1	0,721**	0,197	-0,107 ^{ns}	0,023 ^{ns}	-0,228 ^{ns}	-0,077 ^{ns}	0,079 ^{ns}
h	-	1	0,544	-0,426 ^{ns}	0,317 ^{ns}	-0,404 ^{ns}	0,134 ^{ns}	-0,042 ^{ns}
G	-	-	1	-0,789**	0,742**	-0,127 ^{ns}	0,686*	0,384 ^{ns}
ρ	-	-	-	1	-0,779**	-0,001 ^{ns}	-0,784**	-0,327 ^{ns}
Macro	-	-	-	-	1	-0,228 ^{ns}	0,892**	0,542 ^{ns}
Micro	-	-	-	-	-	1	0,237 ^{ns}	0,024 ^{ns}
Pt	-	-	-	-	-	-	1	0,547 ^{ns}

* Correlação é significativa a 5% de probabilidade de erro. ** Correlação é significativa a 1% de probabilidade de erro. ^{ns} não significativo. *** Condição 1: dados de coleta de solo (na linha de plantio) e medições de altura e diâmetro aos 3 meses de idade das árvores; Condição 2: dados de coleta de solo aos 72 meses e medições de altura e diâmetro aos 74 meses de idade das árvores.

A correlação entre matéria orgânica do solo e o diâmetro das árvores foi positiva na condição 1 e ficou próxima de zero na condição 2 (Tabela 25). A redução da correlação entre matéria orgânica e diâmetro com o passar dos anos permite sugerir que com o aumento da idade das árvores o crescimento em diâmetro ficou menos dependente da matéria orgânica do solo, a qual se encontra em maior quantidade na superfície do solo. O mesmo comportamento foi observado para a correlação entre matéria orgânica do solo e a altura das árvores.

A correlação entre matéria orgânica com porosidade total e macroporosidade do solo aumentou ao longo do tempo (da condição 1 para a 2). O aumento da

quantidade de matéria orgânica do solo ao longo do tempo pode ter influenciado o aumento da correlação entre matéria orgânica com porosidade total e macroporosidade do solo (Tabela 25). Silva et al. (2012) reportam que a matéria orgânica aumenta a porosidade total do solo porque além de dificultar o arranjo piramidal das partículas, a matéria orgânica é também um material poroso.

A correlação do diâmetro das árvores com porosidade total e macroporosidade do solo reduziu com o tempo. Dessa forma, nas idades iniciais do eucalipto quanto maior a porosidade, maior era o diâmetro da planta, tendo esse efeito diminuído com o passar do tempo. A correlação entre a densidade do solo e o diâmetro foi negativa nas duas condições avaliadas. Todavia, a correlação foi mais negativa na condição 1, sugerindo que esta propriedade física do solo teve maior influência no estágio inicial de crescimento do eucalipto (Tabela 25).

CONCLUSÕES

Decorridos setenta e dois meses após a implantação do experimento, não foi constatada degradação das propriedades físicas do solo devido à substituição do campo nativo pelo plantio de *Eucalyptus grandis*, implantado em diferentes métodos de preparo do solo.

Ao longo do tempo, ocorreu reconsolidação das propriedades físicas do solo, inicialmente alteradas pelo preparo do solo. Os efeitos da escarificação, ainda evidenciados aos doze meses após a aplicação dos tratamentos, deixaram de existir após setenta e dois meses.

O preparo do solo proporcionou melhoria nas propriedades físicas do solo para o crescimento inicial do *Eucalyptus grandis*, resultando em maior crescimento e sobrevivência das árvores à medida que se intensificou o preparo do solo. Entretanto, com o passar do tempo, o crescimento das árvores tornou-se homogêneo entre os tratamentos, mas ainda com menor sobrevivência das árvores no CM.

Os efeitos do preparo do solo no sistema radicular do eucalipto foram mais pronunciados logo após o preparo (aos oito meses de idade das plantas), proporcionando melhor desenvolvimento radicular no tratamento ER, o que pode ter contribuído para o maior crescimento em altura e diâmetro deste tratamento. Após setenta e quatro meses de idade do eucalipto ainda foi verificado um padrão de crescimento radicular para os tratamentos, mas não foram evidenciadas relações com o crescimento da planta, visto que não foi mais encontrada diferença estatística entre tratamentos para diâmetro e altura das árvores.

REFERÊNCIAS

- ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. p.142.
- ABRÃO, P. U. R.; GIANLUPPI, D.; AZOLIN, M. A. D. **Levantamento semi detalhado dos solos da estação experimental de silvicultura de Santa Maria**. Porto Alegre, 1988. (Publicação IPRNR, n. 21).
- ACOSTA, M. S. Experiencia Argentina en el uso de la madera de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1995. p. 74-91.
- ALLISON, F. E. **Soil Organic Matter and Its Role in Crop Production**. Amsterdan: Elsevier, 1973. 215-345 p.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. **Física do Solo** - Conceitos e Aplicações. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290 p.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 857-865, 2000.
- ANDREOLA, F.; FERNANDES, S. A. P. A microbiota do solo na agricultura orgânica e no manejo das culturas. In: SILVEIRA, A. P. D. da; FREITAS, S. dos S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. Cap. 2. p. 21-38.
- ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, Jul./Set. 2007.
- AVANZI, J. C. et al. Aggregate stability in soils cultivated with Eucalyptus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 89-96, jan. 2011.
- 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**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 567-575, 2010.

BAPTISTA, J. **Métodos de preparo do solo e sua influência na erosão hídrica e no desenvolvimento inicial de *Eucalyptus saligna* em um Cambissolo Háplico da depressão central do estado do Rio Grande do Sul**. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.599-607, jul./set. 2000.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth response. **Journal Of Soil Science**, London, v. 41, p. 341-358, 1990.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.

BICALHO, I. M. Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Enciclopédia Biosfera**, Ituiutaba, v. 7, n. 12, p. 1-9, 2011.

BOGNOLA, I. A. et al. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 61, p. 37-49, jan./abr. 2010.

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

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 685 p.

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

BRUM, E. T. **Relações entre a altura dominante e fatores do sítio em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm na região de Ponte Alta do Norte, SC**. 1979. 179 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

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

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

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

CARVALHO et al. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*, **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 51-66, 1999.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CAVENAGE, A. et al. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 997-1003, 1999.

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

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

CAVICHIOLO, S. R. **Perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica em diferentes métodos de preparo do solo em plantio de *Pinus taeda***. 2005. 139 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C. **Indicadores de qualidade do solo visando à avaliação de sistemas de manejo do solo**. 2002. 125 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

CORRÊA, R. S. et al. Preparo de solo no crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis*. In: Simpósio Latino-Americano sobre Manejo Florestal, 3, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2004. p. 179-183.

CORRECHEL, V.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 165-173, 1999.

COSTA, L. M. Manejo de solos em áreas reflorestadas. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 237-264.

COUTO, H. T. Z. do; BRITO, J. O. Produtividade de plantações no Nordeste brasileiro. **Revista Instituto de pesquisas e Estudos Florestais (IPEF)**, Piracicaba, v. 3, n. 10, p. 71-83, jan./dez. 1990.

DEDECEK, R. A. et al. Efeitos de sistemas de preparo do solo na erosão e na produtividade da acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 205-215, jul./set. 2007.

DEDECEK, R. A. et al. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1. características físico-hídricas e químicas do solo. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 507-516, jul./set. 2008.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. 182 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 306 p.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In: VAN LIER, Q. de J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. Cap. 1. p. 1-27.

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

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.

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, v. 27, n. 5, p. 635-646, set./out. 2003.

GINWAL, H.S. Provenance and family variation in growth performance of *Eucalyptus tereticornis* (Sm.) in a provenance cum progeny trial in Midnapore, India. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 2529-2534, 2009.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

GONÇALVES, J. L. de M.; DEMATTÊ, J. L. I.; COUTO, H. T. Z. do. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e media no estado de São Paulo. **Revista Instituto de pesquisas e Estudos Florestais (IPEF)**, Piracicaba, n. 43/44, p. 24-39, jan./dez. 1990.

GONÇALVES, J. L. de M. Estabelecimento de plantações de eucaliptos usando o sistema de cultivo mínimo do solo. In: X Jornadas Forestales de Entre Rios, 1995, Cocordia. **Anais...** Concórdia : INTA, 1995. p. II.1-II.15.

GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L. (Ed.) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. 1. ed. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF, 2002. 498 p.

GONZÁLEZ, P. et al. Evaluation of different tillage intensities on *Eucalyptus grandis* on a typic Hapludult of Uruguay. **Agrociencia Uruguay**, v. 16, n. 3, p. 302-305, 2012.

GOOGLE MAPS BRASIL. Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), Santa Maria, 2012. 1 mapa, color. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/maps?hl=pt-R&q=fepagro+santa+maria&ie=UTF-8>>. Acesso em: 9 mai. 2012.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo - exatidão, precisão e tempo de processamento. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 664-668, mar./abr. 2006.

HENTZ, A. M. K. et al. Avaliação ambiental das áreas de preservação permanente do centro de pesquisas da FEPAGRO FLORESTAS em Santa Maria (RS) por geotecnologias. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17; p. 315-329, 2013.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. 413p.

HIGA, R. C. V. Descrição de algumas espécies de eucalipto. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 13, n. 75, p. 8-17, ago. 2003.

IBIAPINA, T. V. B. **Atributos físicos e biológicos de Latossolo Amarelo em áreas cultivadas com soja e eucalipto no Cerrado Piauiense**. 2011. 43 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Precipitação no município de Santa Maria. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: 12 nov., 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Santa Maria**. 2013. Disponível em: < <http://www.inpe.br/crs/geodesastres/santamaria.php>>. Acesso em: 19 set, 2013.

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

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Ed. Agronômica CERES, 1979. 264 p.

LAURINDO, M. C. de O. et al. Atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. **Engenharia na agricultura**, n. 17, p. 367-374, set./out. 2009.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p. 277-294, 1985.

LIMA, C. G. da R. et al. Atributos físico-químicos de um Latossolo do Cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 34, n. 1, p. 163-173, 2010.

LIMA, C. L. R. et al. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 199-205, 2003.

LIMA, J.S. de S.; OLIVEIRA, R.B. de; SILVA, J.M. da; QUARTEZANI, W.Z.; SILVA, S. de A. Desenvolvimento de espécies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urograndis* em solo com presença de camada compactada. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.14, n.2, p. 101-107, Abr./Jun., 2006.

LINCOLN, M.C. et al. Soil change and loblolly pine (*Pinus taeda*) seedling growth following site preparation tillage in the Upper Coastal Plain of the Southeastern United States. **Forest Ecology and Management**, v. 242, n. 1/2, p. 558-568, Apr. 2007.

LONGHI, S. J. et al. Aspectos fitossociológicos de fragmento de floresta estacional decidual, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n.2, p. 59-74, 2000.

LOPES, M. de C. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

LORENZI, H. et al. **Árvores exóticas no Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.

LOSEKANN, M. E. **Caracterização, classificação e indicadores de qualidade do solo em localidades de agricultura familiar do estado do Rio Grande do Sul.** 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 163-170, 2006.

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

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá, MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

MISHRA, A.; SHARMA, S. D.; KHAN, G. H. Improvement in physical and chemical properties of sodic soil by 3, 6 and 9 years old plantation of *Eucalyptus tereticornis* Biorejuvenation of sodic soil. **Forest Ecology and Management**, v. 184, p. 115-124, 2003.

MONTE, M. A. et al. Crescimento de um clone de eucalipto submetido a desrama e desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 5, set./out. 2009.

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

MÜLLER, I.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Forma de tronco e sortimentos de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden., na região sudeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 293-305, 2005.

NICOLOSO, R. da S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 32, p. 1723-1734, 2008.

OTEGBEYEA, G.O.; SAMARAWIRAB, I. Correlations of growth and form characteristics of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. provenances in Northern Nigeria. **Forest Ecology and Management**, v. 50, n. 3/4, p. 275-285, 1992.

PAULINO, A. F., et al. Distribuição do sistema radicular de árvores de Acácia-negra oriundas de mudas produzidas em diferentes recipientes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 605-610, 2003.

PEDROTTI, A. et al. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 521-529, 2001.

PEREIRA, J.C.D. et al. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. 113p. (Documentos, 38).

PERRANDO, E. **Caracterização física e biológica do solo após aplicação de herbicidas em plantios de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul**. 2008. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PORTELA, M. G. T.; SOARES, L. M. dos S.; SALVIANO, A. A. C. Estabilidade de agregados do solo sob diferentes cultivos e sistemas de manejo em Latossolo Amarelo no Cerrado Piauiense. In: XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E III SEMINÁRIO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO, 2011, Teresina. **Anais eletrônicos...** Teresina: UFPI, 2011. Disponível em: < <http://www.ufpi.br/20sic/Documentos/RESUMOS/Modalidade/Exatas/6602294be910b1e3c4571bd98c4d5484.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2013.

POYNTON, R. J. Research the silviculture of *Eucalyptus grandis* (saligna) in the Northern Transvaal. **South African Forestry Journal**, n. 55, p. 10-20, 1965.

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

PREVEDELLO, J. **Dinâmica do armazenamento e da disponibilidade de água em Argissolo sob eucalipto e campo nativo**. 2012. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

RALISCH et al. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.381–384, 2008.

REICHERT, J. M. et al. Agregação de um Planossolo sistematizado há um ano e sob cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 837-844, mai./jun. 2006.

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, p. 310-319, 2009.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos Solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, 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: CERRETA, C.A.; SILVA, L.S. & REICHERT, J.M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 49-134.

RHEINHEIMER; D. S.; et al. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n 1, p. 435-440, 2008.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 701-709, 2005.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 267-273, 2004.

RODIGHERI, R. H.; PINTO, A. F. Desempenho de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. citriodora*, com e sem preparo de solos em pastagem degradada, em Santana do Itararé/PR. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 2 p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 57).

ROSA, D. P. da et al. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p.395-400, mar. 2008.

ROZANE, D. E. et al. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 24-32, jan./fev. 2010.

SARTORI, M. da G. B. **O clima de Santa Maria, RS: do regional ao urbano**. 1979. 165 f. Dissertação (Mestrado em geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 765-769, 2001.

SCHIAVO, J. A.; COLODORO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p.406-412, 2012.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. de. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria: Facos - UFSM, 2009. 294 p.

SCHUMACHER, M. V. et al. Análise de nutrientes para sustentabilidade. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 83, p. 80-87, 2004.

SILVA, C. A. T. da; CEZAR, T. C. M.; NÓBREGA, L. H. P. Porosidade de Latossolos e práticas de manejo agrícola para a conservação do solo. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 02, n.02, p. 153-164, 2012.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 311-317, 1998.

SILVA, J. de C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, L. G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de Cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 613-620, 2009.

SILVA, M. A. S. da et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, Mai./Jun. 2005.

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

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

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1159-1167, ago. 2007.

TAVARES FILHO, J. et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 725-730, 2001.

THEODORO, V. C. A. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob mata nativa e sistemas de produção de café orgânico, em conversão e convencional. In: II Simpósio de pesquisa dos cafés no Brasil, 2001, Vitória. **Anais...** Vitória: EMBRAPA, 2001. 1 CD-ROM.

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

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

TÓTOLA, M., R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 195-276.

VEIGA, M. da. **Propriedades de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas**. 2005. 110 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do Rebordo do Planalto - RS**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ZILLI, J. E. et al. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411, 2003.

ZINN, Y. L.; Lal, R.; Resck, D. V. S. Eucalypt plantation effects on organic carbon and aggregation of three different-textured soils in Brazil. **Soil Research**, v. 49, p. 614-624, 2011.

APÊNDICES

Apêndice A - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para densidade de partículas.

Fonte de variação	Densidade de partículas
Método	0,20 ^{ns}
Profundidade	0,94 ^{ns}
Método*Profundidade	0,47 ^{ns}
CV - método (%)	1,55
CV - profundidade (%)	1,20

^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Apêndice B - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (Pt) do solo, nas épocas 1, 2, 3 e 4, para os métodos de preparo do solo: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.**

Fonte de variação	Ds (g cm ³)	Mac (m ³ m ⁻³)	Mic (m ³ m ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)
Profundidade de 0,00-0,10 m				
Método	17,24*	2,45 ^{ns}	0,45 ^{ns}	5,27*
Época	23,38*	17,47*	13,91*	7,33*
Método*Época	2,30 ^{ns}	1,63 ^{ns}	0,61 ^{ns}	2,04 ^{ns}
CV - método (%)	4,06	36,19	20,13	8,72
CV - época (%)	5,12	24,16	12,10	8,01
Profundidade de 0,10-0,20 m				
Método	7,47*	10,62*	3,74 ^{ns}	10,28*
Época	3,63*	2,08 ^{ns}	7,51*	0,69 ^{ns}
Método*Época	0,66 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,69 ^{ns}
CV - método (%)	5,27	24,13	5,67	7,38
CV - época (%)	7,90	44,65	7,04	13,02
Profundidade de 0,20-0,30 m				
Método	6,85*	11,15*	1,81 ^{ns}	10,99*
Época	1,60 ^{ns}	2,82 ^{ns}	10,77*	1,44 ^{ns}
Método*Época	0,96 ^{ns}	1,20 ^{ns}	1,37 ^{ns}	1,12 ^{ns}
CV - método (%)	3,14	19,01	8,05	5,83
CV - época (%)	5,79	42,53	4,40	13,36
Profundidade de 0,30-0,40 m				
Método	2,17 ^{ns}	2,71 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,76 ^{ns}
Época	2,53 ^{ns}	4,68*	1,31 ^{ns}	2,87 ^{ns}
Método*Época	0,71 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,89 ^{ns}
CV - método (%)	5,39	32,95	11,08	14,38
CV - época (%)	4,67	37,94	8,01	10,86

*Significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} = não significativo.** Épocas 1, 2, 3 e 4: antes da aplicação dos tratamentos, três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

Apêndice C - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (Pt) do solo, na linha e entrelinha de plantio, para os métodos de preparo do solo: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, na época 2, em Santa Maria, RS.**

Fonte de variação	Ds (g cm ³)	Mac (m ³ m ⁻³)	Mic (m ³ m ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)
Profundidade de 0,00-0,10 m				
Método	11,16*	3,77 ^{ns}	1,45 ^{ns}	4,50*
Posição	3,12 ^{ns}	12,82*	10,31*	6,52*
Método*Posição	2,40 ^{ns}	2,40 ^{ns}	1,14 ^{ns}	3,76 ^{ns}
CV (%) - método	3,52	36,18	11,04	8,91
CV (%) - posição	6,89	26,12	9,78	6,84
Profundidade de 0,10-0,20 m				
Método	2,37 ^{ns}	7,55*	1,94 ^{ns}	5,18*
Posição	12,07*	3,28 ^{ns}	1,09 ^{ns}	3,58 ^{ns}
Método*Posição	3,76 ^{ns}	2,02 ^{ns}	2,45 ^{ns}	1,77 ^{ns}
CV (%) - método	6,05	24,22	5,51	8,40
CV (%) - posição	6,04	47,65	5,19	13,55
Profundidade de 0,20-0,30 m				
Método	9,98*	12,94*	0,68 ^{ns}	11,10*
Posição	10,27*	12,05*	0,28 ^{ns}	16,52*
Método*Posição	3,05 ^{ns}	3,76 ^{ns}	0,66 ^{ns}	4,45*
CV (%) - método	2,69	21,60	6,63	7,00
CV (%) - posição	4,28	32,68	4,27	8,96
Profundidade de 0,30-0,40 m				
Método	1,06 ^{ns}	1,57 ^{ns}	2,06 ^{ns}	1,17 ^{ns}
Posição	0,53 ^{ns}	2,85 ^{ns}	0,15 ^{ns}	1,90 ^{ns}
Método*Posição	1,66 ^{ns}	3,24 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,87 ^{ns}
CV (%) - método	5,27	46,41	6,41	13,66
CV (%) - posição	4,56	32,42	5,08	10,50

* Significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} = não significativo. ** Dados da época 2 foram obtidos por Prevedello (2008).

Apêndice D - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (Pt) do solo, na linha e entrelinha de plantio, para os métodos de preparo do solo: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, na época 3, em Santa Maria, RS.**

Fonte de variação	Ds (g cm ³)	Mac (m ³ m ⁻³)	Mic (m ³ m ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)
Profundidade de 0,00-0,10 m				
Método	1,10 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,29 ^{ns}
Posição	52,48*	37,83*	1,59 ^{ns}	48,88*
Método*Posição	2,70 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,90 ^{ns}
CV (%) - método	4,64	44,26	20,74	6,35
CV (%) - posição	5,33	33,58	13,74	8,60
Profundidade de 0,10-0,20 m				
Método	4,02 ^{ns}	4,76*	1,23 ^{ns}	4,51 ^{ns}
Posição	1,98 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,14 ^{ns}	1,22 ^{ns}
Método*Posição	0,10 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,07 ^{ns}
CV (%) - método	3,56	25,98	6,56	7,18
CV (%) - posição	8,99	33,59	5,07	16,35
Profundidade de 0,20-0,30 m				
Método	0,54 ^{ns}	2,44 ^{ns}	2,43 ^{ns}	2,56 ^{ns}
Posição	7,00*	4,95 ^{ns}	5,00 ^{ns}	3,82 ^{ns}
Método*Posição	0,62 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,79 ^{ns}	0,69 ^{ns}
CV (%) - método	3,54	34,39	5,35	7,42
CV (%) - posição	5,03	50,72	2,77	10,76
Profundidade de 0,30-0,40 m				
Método	0,71 ^{ns}	2,21 ^{ns}	2,74 ^{ns}	1,69 ^{ns}
Posição	3,91 ^{ns}	3,18 ^{ns}	0,00 ^{ns}	5,34*
Método*Posição	0,74 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,46 ^{ns}
CV (%) - método	3,62	43,73	4,61	7,82
CV (%) - posição	3,02	38,25	2,93	5,55

* Significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} = não significativo. ** Dados da época 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

Apêndice E - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (Pt) do solo, na linha e entrelinha, para os métodos de preparo do solo: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, na época 4, em Santa Maria, RS.

Fonte de variação	Ds (g cm ³)	Mac (m ³ m ⁻³)	Mic (m ³ m ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)
Profundidade de 0,00-0,10 m				
Método	0,95 ^{ns}	1,67 ^{ns}	4,00 ^{ns}	1,78 ^{ns}
Posição	1,58 ^{ns}	4,50 ^{ns}	0,04 ^{ns}	2,64 ^{ns}
Método*Posição	1,63 ^{ns}	2,68 ^{ns}	2,05 ^{ns}	2,80 ^{ns}
CV (%) - método	6,63	16,64	4,48	8,95
CV (%) - posição	5,83	9,26	4,44	5,67
Profundidade de 0,10-0,20 m				
Método	0,48 ^{ns}	2,32 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,35 ^{ns}
Posição	4,40 ^{ns}	3,91 ^{ns}	0,11 ^{ns}	4,74 ^{ns}
Método*Posição	3,25 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,98 ^{ns}
CV (%) - método	4,67	17,69	9,63	7,46
CV (%) - posição	4,26	19,61	5,94	6,53
Profundidade de 0,20-0,30 m				
Método	0,24 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,23 ^{ns}	2,82 ^{ns}
Posição	0,15 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,13 ^{ns}	4,97 ^{ns}
Método*Posição	0,37 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1,11 ^{ns}
CV (%) - método	6,01	33,51	11,91	7,39
CV (%) - posição	5,71	32,01	15,49	9,99
Profundidade de 0,30-0,40 m				
Método	0,33 ^{ns}	0,44 ^{ns}	2,31 ^{ns}	1,00 ^{ns}
Posição	1,31 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Método*Posição	1,57 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,57 ^{ns}
CV (%) - método	3,48	20,88	11,89	9,30
CV (%) - posição	4,22	22,43	14,67	15,07

* Significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} = não significativo.

Apêndice F - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para resistência à penetração das raízes, nas épocas 2, 3 e 4, para os métodos de preparo do solo: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.**

Fonte de variação	Profundidade (m)				
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	0,40-0,50
Método	14,79*	5,71*	3,59 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Época	5,06*	20,38*	31,75*	35,66*	19,64*
Método*Época	5,81*	2,65 ^{ns}	2,42 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,33 ^{ns}
CV (%)					
Método	13,81	6,41	6,18	9,42	12,99
CV (%)					
Época	8,97	11,06	9,85	9,75	15,43

* Significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} = não significativo. ** Dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

Apêndice G - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e matéria orgânica do solo (MOS), nas épocas* 1, 2, 3, e 4, nos tratamentos: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.

Fonte de variação	DMG (mm)	DMP (mm)	MOS (%)
Método	1,00 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Época	5,68**	5,81**	0,96 ^{ns}
Método*Época	1,35 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,87 ^{ns}
CV (%) Método	32,95	19,12	20,49
CV (%) Época	22,13	11,66	23,35

* Épocas 1, 2, 3 e 4: antes da aplicação dos tratamentos, três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008). ^{ns} = não significativo. ** Significativo a 5% de probabilidade de erro.

Apêndice H - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e matéria orgânica do solo (MOS), na linha e na entrelinha de plantio, nas épocas 2, 3 e 4, nos tratamentos: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.**

Fonte de variação	Época 2	Época 3	Época 4
DMG (mm)			
Método	1,82 ^{ns}	3,26 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Posição	5,48*	2,06 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Método*Posição	1,33 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,36 ^{ns}
CV (%) Método	24,74	12,68	19,21
CV (%) Posição	32,29	26,37	22,01
DMP (mm)			
Método	1,41 ^{ns}	4,15 ^{ns}	0,85 ^{ns}
Posição	6,80*	2,86 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Método*Posição	1,69 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,56 ^{ns}
CV (%) Método	15,46	6,24	10,01
CV (%) Posição	15,96	13,81	11,46
MOS (%)			
Método	17,66*	1,47 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Posição	10,14*	0,15 ^{ns}	2,09 ^{ns}
Método*Posição	0,97 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,57 ^{ns}
CV (%) Método	5,44	32,95	17,44
CV (%) Posição	15,07	24,27	13,00

* Significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} = não significativo. ** Épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

Apêndice I - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%), nas épocas 1, 2, 3 e 4, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Época*	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
Classe de 8,00-4,76 mm					
1	45,18	51,54	49,00	53,80	49,88 A**
2	53,80	40,55	31,29	36,34	40,49 B
3	46,73	45,12	39,76	44,01	43,91 AB
4	53,38	50,32	44,20	52,32	50,06 A
Média	49,77	46,88	41,06	46,62	
Classe de 4,76-2,00 mm					
1	18,61	19,18	20,02	16,10	18,48
2	16,31	15,77	16,23	17,11	16,35
3	18,82	17,60	16,53	17,40	17,59
4	15,73	17,57	17,22	16,37	16,72
Média	17,37	17,53	17,50	16,75	
Classe de 2,00-1,00 mm					
1	9,36	8,20	9,05	7,48	8,52
2	7,09	8,03	9,14	10,46	8,68
3	8,62	8,45	9,74	9,09	8,98
4	7,54	7,83	8,50	7,38	7,81
Média	8,15	8,13	9,11	8,61	
Classe de 1,00-0,25 mm					
1	13,09	9,45	12,32	10,28	11,28 B
2	10,20	14,56	14,97	19,46	14,80 AB
3	12,26	12,76	16,42	14,27	13,93 AB
4	13,36	13,91	20,40	15,83	15,88 A
Média	12,23	12,67	16,03	14,96	
Classe < 0,25 mm					
1	13,75	11,63	9,61	12,33	11,83 BC
2	12,60	21,09	28,37	16,64	19,67 A
3	13,56	16,07	17,55	15,22	15,60 AB
4	9,98	10,37	9,68	8,10	9,53 C
Média	12,47	14,79	16,30	13,07	

* Épocas 1, 2, 3 e 4: antes da aplicação dos tratamentos, três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008). ** Médias seguidas de letras iguais, sendo maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Apêndice J - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%) na época 2, na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Posição	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
Classe de 8,00-4,76 mm					
L	53,80	40,55	31,29	36,34	40,49
E	48,73	51,01	51,20	46,62	49,39
Média	51,26	45,78	41,24	41,48	
Classe de 4,76-2,00 mm					
L	16,31	15,77	16,23	17,11	16,35 B*
E	18,61	19,56	19,06	19,04	19,07 A
Média	17,46	17,67	17,65	18,07	
Classe de 2,00-1,00 mm					
L	7,09	8,03	9,14	10,46	8,68
E	9,32	9,15	7,95	7,97	8,60
Média	8,21	8,59	8,55	9,21	
Classe de 1,00-0,25 mm					
L	10,20	14,56	14,97	19,46	14,80 A
E	11,46	9,45	10,58	12,57	11,02 B
Média	10,83	12,01	12,78	16,01	
Classe < 0,25 mm					
L	12,60	21,09	28,37	16,64	19,67 A
E	11,88	10,82	11,21	13,80	11,93 B
Média	12,24	15,96	19,79	15,22	

* Médias seguidas de letras iguais, sendo maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Dados da época 2 foram obtidos por Prevedello (2008).

Apêndice K - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%) na época 3, na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Posição	Métodos de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
Classe de 8,00-4,76 mm					
L	46,73	45,12	39,76	44,01	43,91
E	47,64	50,77	46,39	59,00	50,95
Média	47,19	47,95	43,07	51,50	
Classe de 4,76-2,00 mm					
L	18,82	17,60	16,53	17,40	17,59
E	16,48	15,73	16,83	15,49	16,13
Média	17,65	16,66	16,68	16,45	
Classe de 2,00-1,00 mm					
L	8,62	8,45	9,74	9,09	8,98
E	8,50	7,01	8,39	6,07	7,50
Média	8,56	7,73	9,07	7,58	
Classe de 1,00-0,25 mm					
L	12,26	12,76	16,42	14,27	13,93
E	13,02	11,35	14,10	9,21	11,92
Média	12,64	12,06	15,26	11,74	
Classe < 0,25 mm					
L	13,56	16,07	17,55	15,22	15,60
E	14,36	15,13	14,29	10,22	13,50
Média	13,96	15,60	15,92	12,72	

* Médias seguidas de letras iguais, sendo maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Dados da época 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

Apêndice L - Distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%) na época 4, na linha (L) e na entrelinha (E) de plantio, nos tratamentos: coveamento manual (CM), escarificado (Esc), escarificado mais grade niveladora (EG) e enxada rotativa (ER), em Santa Maria, RS.

Posição	Sistema de preparo do solo				Média
	CM	Esc	EG	ER	
Classe de 8,00-4,76 mm					
L	53,38	50,32	44,20	52,32	50,06
E	46,94	49,41	50,30	55,34	50,50
Média	50,16	49,86	47,25	53,83	
Classe de 4,76-2,00 mm					
L	15,73	17,57	17,22	16,37	16,72
E	16,72	14,90	15,59	15,85	15,76
Média	16,22	16,23	16,40	16,11	
Classe de 2,00-1,00 mm					
L	7,54	7,83	8,50	7,38	7,81
E	9,27	8,68	7,64	6,22	7,95
Média	8,40	8,26	8,07	6,80	
Classe de 1,00-0,25 mm					
L	13,36	13,91	20,40	15,83	15,88
E	17,54	16,61	17,79	13,86	16,45
Média	15,45	15,26	19,09	14,84	
Classe < 0,25 mm					
L	9,98	10,37	9,68	8,10	9,53
E	9,54	10,40	8,68	8,73	9,34
Média	9,76	10,39	9,18	8,41	

Médias seguidas de letras iguais, sendo maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Apêndice M - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para a distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%) nas classes de 8,00-4,76, 4,76-2,00, 2,00-1,00, 1,00-0,25 e < 0,25 mm, nas épocas 1, 2, 3 e 4, nos tratamentos: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.**

Fonte de variação	Classes de agregados (mm)				
	8,00-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	< 0,25
Método	0,92 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,27 ^{ns}	3,07 ^{ns}	0,80 ^{ns}
Época	4,34*	1,72 ^{ns}	0,92 ^{ns}	3,54*	8,40*
Método*Época	1,30 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,43 ^{ns}
CV (%)					
Método	28,51	17,84	36,31	25,77	47,43
CV (%)					
Época	16,94	14,49	20,97	25,83	37,55

^{ns} = não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade de erro. ** Épocas 1, 2, 3 e 4: antes da aplicação dos tratamentos, três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 1, 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

Apêndice N - Valores de F e coeficiente de variação (CV) para a distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água do solo (%) nas classes de 8,00-4,76, 4,76-2,00, 2,00-1,00, 1,00-0,25 e < 0,25 mm, na linha e na entrelinha de plantio, nas épocas 2, 3 e 4, nos tratamentos: coveamento manual, escarificado, escarificado mais grade niveladora e enxada rotativa, em Santa Maria, RS.**

Fonte de variação	Classes de agregados (mm)				
	8,00-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	< 0,25
Época 2					
Método	1,18 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1,69 ^{ns}	1,46 ^{ns}
Posição	4,66 ^{ns}	10,21*	0,01 ^{ns}	6,79*	6,05*
Método* Posição	1,57 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,85 ^{ns}	1,47 ^{ns}	1,42 ^{ns}
CV (%) Método	23,56	13,70	25,96	32,40	39,84
CV (%) Posição	22,46	11,75	22,41	27,54	48,80
Época 3					
Método	3,74 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,70 ^{ns}	4,10 ^{ns}	1,25 ^{ns}
Posição	3,11 ^{ns}	2,49 ^{ns}	4,34 ^{ns}	3,15 ^{ns}	1,45 ^{ns}
Método* Posição	0,54 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,53 ^{ns}
CV (%) Método	9,23	11,65	24,85	14,98	22,48
CV (%) Posição	20,64	13,39	21,15	21,44	29,37
Época 4					
Método	0,80 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,98 ^{ns}	4,07 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Posição	0,02 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Método* Posição	0,69 ^{ns}	0,56 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,22 ^{ns}
CV (%) Método	14,74	10,21	23,02	14,80	29,77
CV (%) Posição	15,87	15,83	19,22	34,34	19,41

^{ns} = não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade de erro. ** Épocas 2, 3 e 4: três, doze e setenta e dois meses após a aplicação dos tratamentos, respectivamente. Os dados das épocas 2 e 3 foram obtidos por Prevedello (2008).

Apêndice O - Distribuição do sistema radicular pelo método do perfil descrito por Böhm (1976) aos 74 meses de idade do povoamento



CM – repetição 1



CM – repetição 2



CM – repetição 3



Esc – repetição 1



Esc – repetição 2



Esc – repetição 3



EG – repetição 1



EG – repetição 2



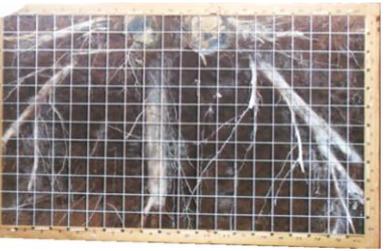
EG – repetição 3



ER – repetição 1



ER – repetição 2

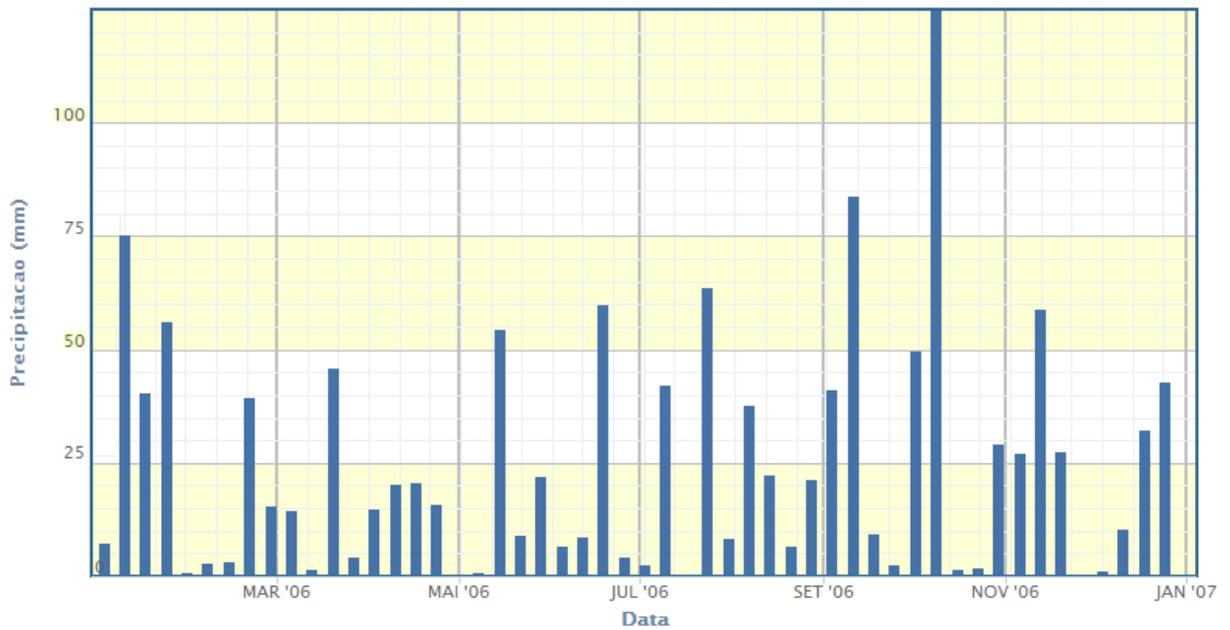


ER – repetição 3

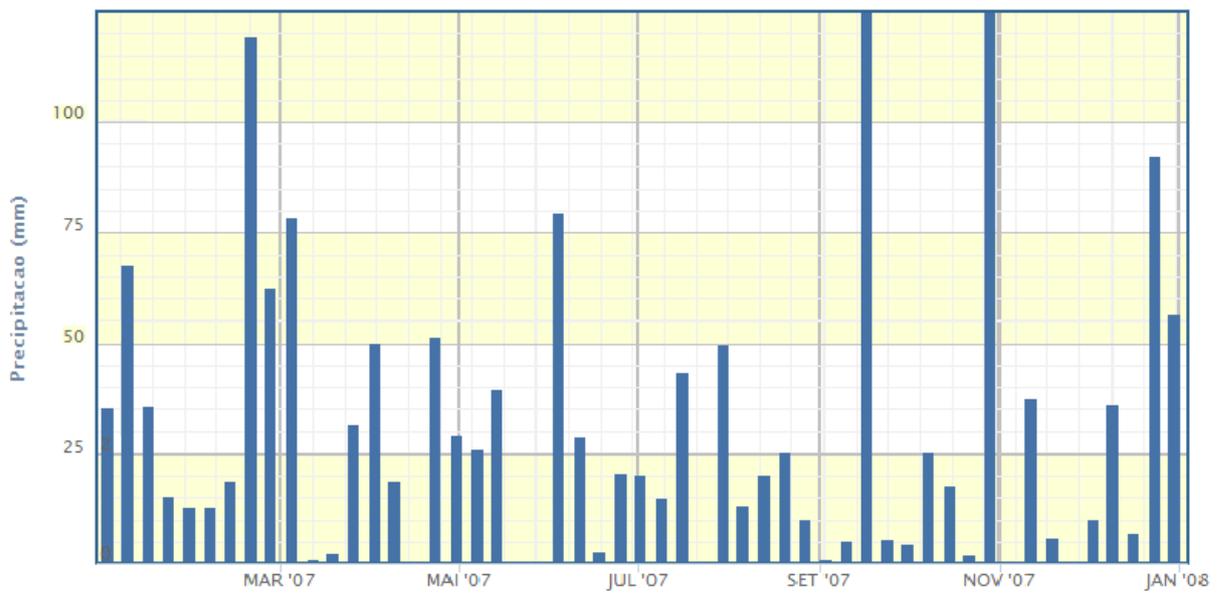
ANEXOS

Anexo A - Precipitação em Santa Maria, Rio Grande do Sul, nos anos de 2006 e 2007.

Ano de 2006



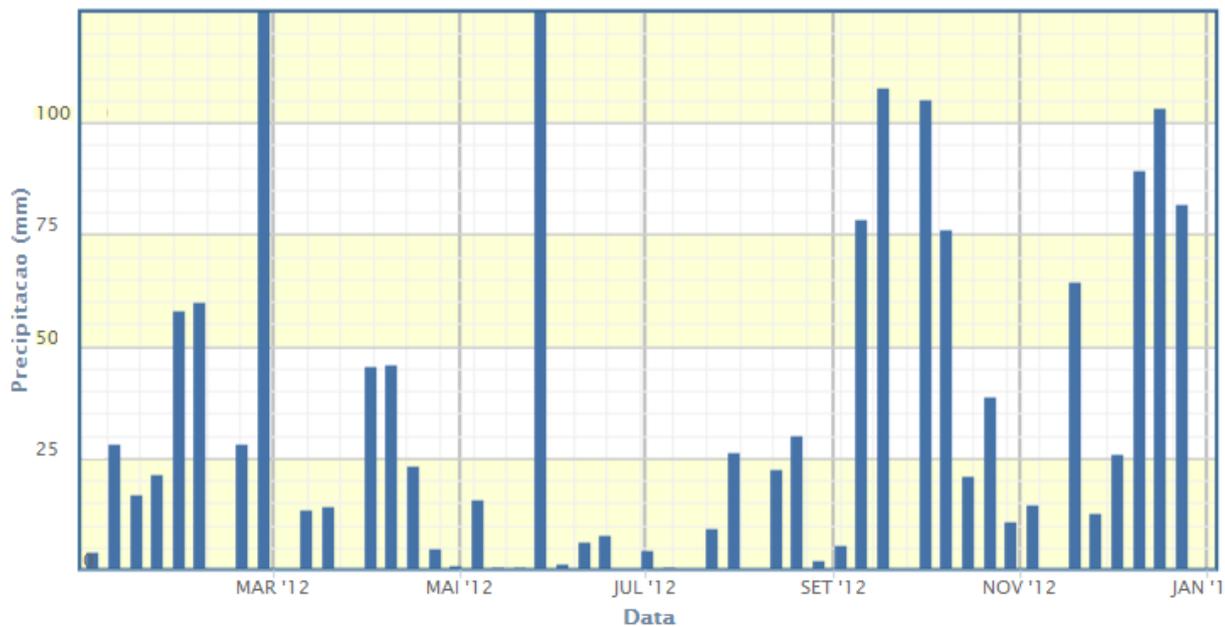
Ano de 2007



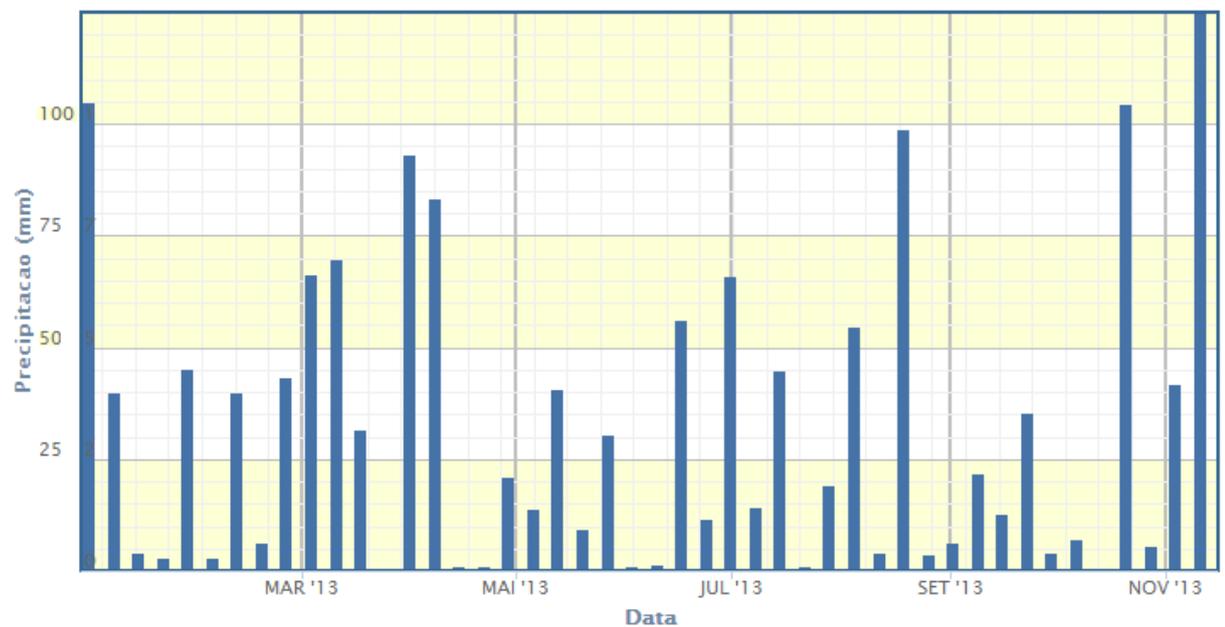
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2013).

Anexo B - Precipitação em Santa Maria, Rio Grande do Sul, nos anos de 2012 e 2013.

Ano de 2012

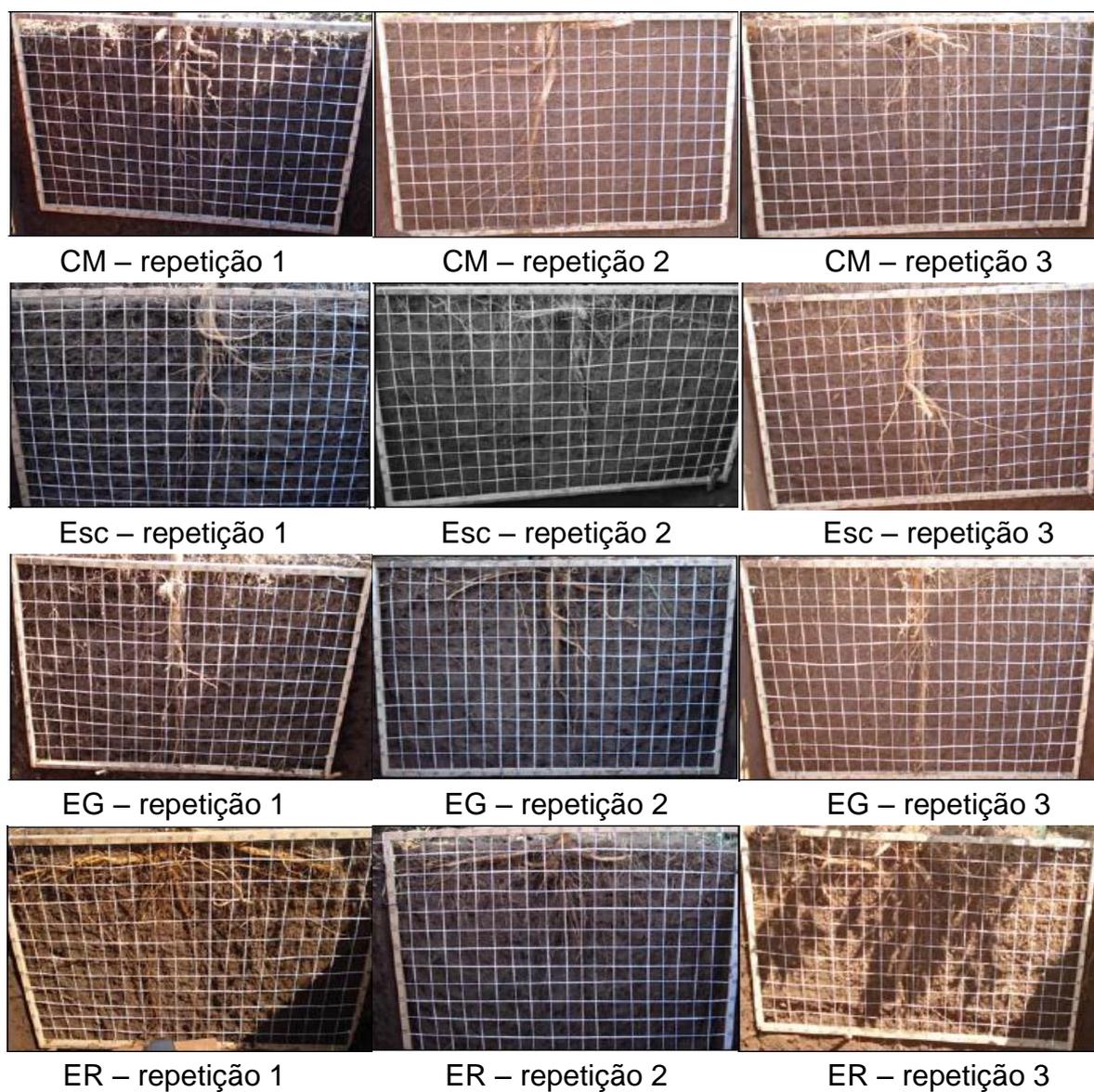


Ano de 2013



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2013).

Anexo C - Distribuição do sistema radicular pelo método do perfil descrito por Böhm (1976) aos 08 meses de idade do povoamento.



Fonte: PREVEDELLO (2008).