

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PREPARO DO SOLO NO ESTABELECIMENTO
INICIAL DA NOGUEIRA-PECÃ *Carya illinoensis*
(Wangenh.) K. Koch EM ARGISSOLO VERMELHO
NO RIO GRANDE DO SUL**

TESE DE DOUTORADO

Eloi Paulus

Santa Maria, RS, Brasil.

2015.

**PREPARO DO SOLO NO ESTABELECIMENTO
INICIAL DA NOGUEIRA-PECÃ *Carya illinoensis*
(Wangenh.) K. Koch EM ARGISSOLO VERMELHO NO RIO
GRANDE DO SUL**

Eloi Paulus

Tese apresentada ao Curso de Doutorado 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
Doutor em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Dalvan José Reinert, PhD

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

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

Paulus, Eloi

Preparo do solo no estabelecimento inicial da noqueira-pecã *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch em Argissolo Vermelho no Rio Grande do Sul/ Eloi Paulus - 2015
93 p.; 30 cm

Orientador: Dalvan José Reinert

Coorientadores: Mauro Valdir Schumacher, José Miguel Reichert

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2015.

1. Crescimento da noqueira-pecã 2. Sistema radicular 3. Preparo do solo 4. Silvicultura I. Reinert, Dalvan José II. Schumacher, Mauro Valdir III. Reichert, José Miguel. Título

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Eloi Paulus. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
Aprova a Tese de Doutorado

**PREPARO DO SOLO NO ESTABELECIMENTO INICIAL DA
NOGUEIRA-PECÃ *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch EM
ARGISSOLO VERMELHO NO RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por
Eloi Paulus

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Suzana Ferreira da Rosa, Dr. (IFRS)

Cleber Witt Saldanha, Dr. (FEPAGRO)

Eduardo Saldanha Vogelmann, Dr. (FURG)

Jean Alberto Sampietro, Dr. (UDESC)

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2015.

A força divina que chamo de Universal, agradeço.

*Dedico este trabalho a minha família,
Artur, Bernardo Augusto, Edneia Freitas (in memoriam) pela
motivação e apoio de continuar a jornada.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e aos Departamentos de Engenharia Florestal e de Solos, pelo acolhimento e possibilidade de realização deste trabalho.

À FEPAGRO, e a DIVINUT pelo interesse, incentivo, financiamento e apoio fundamental à pesquisa. Aos Engenheiros Florestais Roberto Trevisan, Cleber Witt, pela colaboração, sugestões e informações prestadas.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. PhD. Dalvan José Reinert, pela valiosa orientação, dedicação, amizade, estímulo, confiança, paciência e compreensão no desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e Ciência do Solo pelas sugestões e ensinamentos durante o curso.

Ao técnico Flavio Fontinelli pelo apoio, paciência e colaboração na realização das análises laboratoriais. E às secretárias do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal Cerlene Machado e Rone Maria David e Caroline pela amizade, carinho e atenção.

Aos colegas, de pós-graduação e graduação do Laboratório de Física do Solo e Pós Graduação da Engenharia Florestal, pela dedicação, apoio, colaboração e amizade incondicionais.

À Prof. Dr. Dörthe Holthusen pelo apoio, companheirismo, carinho e sugestões.

À minha família, que nunca mediram esforços para a minha formação pessoal e profissional.

Enfim, a todos os que não foram citados aqui, mas que, colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

PREPARO DO SOLO NO ESTABELECIMENTO INICIAL DA NOGUEIRA-PECÃ *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch EM ARGISSOLO VERMELHO NO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: ELOI PAULUS
ORIENTADOR: DALVAN JOSÉ REINERT

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de fevereiro de 2015.

A estrutura do solo é definida pela sua condição física, expressa pela dimensão, forma e arranjo das partículas sólidas e dos poros a elas associados. Com o uso e manejo do solo em pomares de noqueira-pecã, a estrutura do solo é modificada pelo preparo do solo, crescimento e desenvolvimento radicular durante o cultivo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos preparos do solo no crescimento da noqueira-pecã em diferentes épocas de desenvolvimento e, através de parâmetros físico-hídricos no solo definir as condições que possam favorecer o melhor crescimento radicular e aéreo da planta. O estudo foi realizado na FEPAGRO Florestas, localizada em Santa Maria no Rio Grande do Sul. Os sistemas de preparo do solo foram: T1-Plantio com cova pequena de 0,20 x 0,60 m (PCP); T2-Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); T3-Enxada rotativa e cova pequena (ER); T4-Plantio com cova grande de 0,40 x 0,60 m (PCG). O delineamento experimental foi blocos ao acaso com 5 repetições. Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas nas camadas de 0,0 a 0,10; 0,10 a 0,20; 0,20 a 0,40; e 0,40 a 0,60 m, para determinar a densidade do solo (D_s), distribuição de tamanho de poros, permeabilidade ao ar (K_a), condutividade hidráulica de solo saturado (K_{sat}) e a curva de retenção de água. A resistência do solo à penetração (R_p) foi determinada em três distâncias em torno dos quatro quadrantes da noqueira-pecã. Avaliou-se o crescimento da noqueira através da altura e diâmetro de colo em diferentes épocas, a massa seca da parte aérea, densidade e comprimento radicular aos 24 meses. O plantio somente em cova pequena da muda da noqueira-pecã reduziu o crescimento radicular e da parte aérea. O preparo do solo em cova grande proporcionou maior crescimento em altura e diâmetro e comprimento de raízes depois dos 21 meses até os 24 meses de avaliação. A subsolagem com gradagem favoreceu a retenção e disponibilidade de água no solo na profundidade entre 0,40 e 0,60 m, porém não mostrou diferença significativa nos resultados na taxa de sobrevivência, crescimento radicular e da parte aérea da noqueira-pecã.

Palavras-chave: sistema radicular, densidade do solo, resistência a penetração.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Forest Engineering Post Graduation Program
Federal university of Santa Maria

SOIL TILLAGE IN INITIAL ESTABLISHING OF PECAN NUTS *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch IN A ALFISOL IN RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: ELOI PAULUS
ADVISER: DALVAN JOSÉ REINERT
Place and date: Santa Maria, February 27th, 2015

Soil structure is defined by its physical condition, expressed by the size, shape and arrangement of solid particles and the pores are concerned. With the use and soil management in pecan orchards, soil structure is modified by soil tillage, growth and root development during cultivation. The objective of this study was to evaluate the effect of soil tillage in the growth of pecan seedlings at different times of development and, through physical-hydric soil parameters define the conditions that may favor better root and aerial plant growth. The study was conducted at FEPAGRO Forests, located in Santa Maria, Rio Grande do Sul. Soil tillage systems were: T1-Planting with small pit 0,20 x 0,60 m (PCP); T2-Subsoiler plus disking and small pit (SG); T3-Rotary hoe and small pit (ER) T4-Planting with a large pit 0,40 x 0,60 m (PCG). The experimental design was a randomized block design with 5 replications. Soil samples with preserved structure were collected in layers 0,00 to 0,10; 0,10 to .20; 0,20 to 0,40; and 0,40 to 0,60 m, to determine the bulk density (Ds), pore size distribution, air permeability (Ka), saturated hydraulic conductivity (Ksat) and the water retention curve. The soil penetration resistance (Rp) was determined in three distances around the four quadrants of pecan trees. The walnut crop growth was evaluated through the high and stem diameter at different times, the shoot dry mass, density and root length at 24 months. The planting in small pit tillage of pecan reduced root growth and vegetative growth. The soil tillage in large pit provided the highest growth in height, diameter and length of roots after 21 months to 24 months of evaluation. Subsoiler plus disking favored the retention and water availability in soil at depth between 0,40 and 0,60 m, but showed no significant difference in the results on the survival rate, root growth and vegetative pecan growth.

Keewords: root system, bulk density, penetration resistance.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Localização da área experimental no município de Santa Maria – RS. (Imagem do Google Earth acessada em dezembro de 2011).27
- Figura 2 - Croqui do experimento com a definição dos tratamentos (preparos do solo) e distribuição dos blocos.31
- Figura 3 - Área experimental noqueira-pecã e espaçamento 7 x 7 m (detalhe em amarelo) após o plantio.31
- Figura 4 - Subsolador utilizado para subsolagem (a), grade niveladora concomitante a subsolagem (b), enxada rotativa (c), perfurador grande (d), perfurador pequeno (e) plantio da muda de noqueira-pecã (f).33
- Figura 5 - Extração de amostras preservadas de solo. FEPAGRO Floresta, Santa Maria - RS34
- Figura 6 - Permeômetro de fluxo constante de ar utilizado nas medições de condutividade do solo ao ar em amostras com estrutura de solo preservada. Fonte: Abrão (2011).....36
- Figura 7 - Permeômetro de carga variável utilizado nas medições de condutividade hidráulica do solo saturado. Fonte: Kaiser (2010)38
- Figura 8 - Valores médios da permeabilidade ao ar. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas referem-se às camadas e minúscula aos preparos do solo, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Duncan com intervalo de confiança a 90 %. Plantio com cova pequena de 0,20 x 0,60 m (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 0,40 x 0,60 m (PCG).49
- Figura 9 - Valores médios do log do índice de continuidade de poros, K_1 , derivado da razão entre permeabilidade ao ar e porosidade de aeração (K_a/ϵ_a). Médias seguidas de letras iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Duncan com intervalo de confiança a 90 %. Letras maiúsculas referem-se às camadas e minúsculas aos preparos do solo. Plantio com cova pequena de 0,20 x 0,60 m (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 0,40 x 0,60 m (PCG).50
- Figura 10 - Curva de retenção de água, nos diferentes preparos de solo e camadas. Plantio com cova pequena de 0,20 x 0,60 m (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 0,40 x 0,60 m (PCG).52
- Figura 11 - Distribuição de tamanho dos agregados estáveis em água aos 04 meses, 12 e 24 meses do plantio de *Carya illinoensis* (Wang) Koch em diferentes preparos de solo nas camadas 0,0-10 e 0,10-0,29 m, FEPAGRO Floresta, Santa Maria, RS.....57
- Figura 12 - Distribuição de tamanho dos agregados estáveis em água aos 04 meses, 12 e 24 meses do plantio de *Carya illinoensis* (Wang) Koch em diferentes preparos de solo, Santa Maria, RS.....58
- Figura 13 - Resistência do solo à penetração aos 24 meses de idade após o plantio da noqueira-pecã, para o preparo do solo cova pequena (PCP), subsolado grade niveladora (SG), enxada rotativa (ER) e Preparo com cova grande (PCG).....61

- Figura 14 - Médias de RP para os diferentes preparos do solo (a) e umidade do solo.(b) no momento da avaliação. ns = valores não significativos, * significativo a 5 % pelo teste de Tukey.....62
- Figura 15 - Arranjo de raízes, em diferentes camadas do solo, preparos e distâncias a partir do caule da *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade. (PCP) preparo cova pequena. Repetição 1, 2 e 3 (Rep.).72
- Figura 16 - Arranjo de raízes, em diferentes camadas do solo, preparos e distâncias a partir do caule da *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade. (SG) subsolador mais grade niveladora. Repetição 1, 2 e 3 (Rep.).73
- Figura 17 - Arranjo de raízes, em diferentes camadas do solo, preparos e distâncias a partir do caule da *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade. (ER) enxada rotativa. Repetição 1, 2 e 3 (Rep.).74
- Figura 18 - Arranjo de raízes, em diferentes camadas do solo, preparos e distâncias a partir do caule da *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade. (PCG) preparo cova grande. Repetição 1, 2 e 3 (Rep.).75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição granulométrica e densidade de partículas do solo da área de implantação de noqueira-pecã nas diferentes camadas, FEPAGRO Floresta, Santa Maria – RS.	28
Tabela 2 - Caracterização química do solo da área de implantação de noqueira-pecã nas diferentes profundidades, FEPAGRO Floresta, Santa Maria – RS....	29
Tabela 3 - Caracterização química do solo na cova do plantio da noqueira-pecã nas diferentes camadas após 24 meses, FEPAGRO Floresta, Santa Maria – RS.	30
Tabela 4 - Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), porosidade total (Pt) da noqueira-pecã (<i>Carya illinoienses</i>) para os preparos de solo avaliadas. FEPAGRO FLORESTAS, Santa Maria, RS.	47
Tabela 5 – Capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível em diferentes tipos de preparo do solo em um Argissolo Vermelho, Santa Maria, RS.	53
Tabela 6 - Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}) cultivado com noqueira-pecã (<i>Carya illinoienses</i>) nos sistemas de preparo e camadas estudadas.	55
Tabela 7 - Diâmetro médio geométrico úmido do solo cultivado com noqueira-pecã (DMGu mm) nos diferentes preparos determinados aos quatro, 12 e 24 meses.	56
Tabela 8 - Taxa de sobrevivência (%) de diferentes épocas para a noqueira-pecã em diferentes preparos do solo, FEPAGRO FLORESTAS, Santa Maria, RS.	63
Tabela 9 - Crescimentos periódicos do diâmetro (mm) do colo a 0,05 m e altura total da noqueira-pecã para cada sistema do manejo de solo, FEPAGRO FLORESTAS, Santa Maria, RS.	64
Tabela 10 - Teores médios de macronutrientes g kg^{-1} (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes mg kg^{-1} (B, Cu, Fe, Mn, Zn) nas folhas das árvores de <i>Carya illinoienses</i> (Wanghen.) K. Koch aos 2 anos de idade submetidas aos preparos de solo na FEPAGRO FLORESTAS, Santa Maria, RS.	66
Tabela 11 - Concentração considerada adequada de valores de nutrientes em folhas de noqueira pecã.	66
Tabela 12 - Comprimento (m m^{-3}) de raízes finas ($\leq 2 \text{ mm}$), em diferentes camadas do solo, preparos e distâncias a partir do caule da <i>Carya illinoienses</i> (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade.	68
Tabela 13 – Densidade de raízes finas g dm^{-3} ($\leq 2 \text{ mm}$), em diferentes camadas, preparos do solo, e distâncias a partir do caule da <i>Carya illinoienses</i> (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade na FEPAGRO FLORESTAS, Santa Maria, RS.	69
Tabela 14 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a densidade de raízes (Dr) na camada de 0,0 a 0,30m de profundidade do solo, densidade do solo(Ds), resistência a penetração (RP), água disponível (AD) porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic).	70
Tabela 15 - Biomassa radicular ($> 2 \text{ mm}$) na camada de 0,0 a 1,70 m de profundidade do solo, medidas diamétricas e biomassa seca aérea da <i>Carya illinoienses</i> (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade.	71

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Mg	Megagrama
kPa	Quilopascal
kg	Quilograma
kg kg⁻¹	Quilograma por quilograma
%	Percentual
CC	Capacidade de campo (% ou m ³ m ⁻³)
PMP	Ponto de murcha permanente (% ou m ³ m ⁻³)
Rp	Resistência do solo à penetração (MPa)
m³	Metro cúbido
m³ m⁻³	Metro cúbido por metro cúbido
MPa	Megapascal
U	Umidade gravimétrica do solo ou umidade em base de massa (% ou kg ¹ kg ⁻¹)
CRA	Curva de retenção de água no solo
m	Metro
°C	Graus Celsius
mm	Milímetro
PVd	Argissolo Vermelho Distrófico
cm	Centímetro
g kg⁻¹	Grama por quilograma
g dm⁻³	Grama por decímetro cúbico
Mg m⁻³	Megagrama por metro cúbico
Argila	Partículas do solo de diâmetro menor que 0,002 mm
Silte	Partículas do solo de diâmetro entre 0,05 a 0,002 mm
Areia fina	Partículas do solo de diâmetro entre 0,2 a 0,05 mm
Areia grossa	Partículas do solo de diâmetro entre 2 a 0,2 mm
C-org	Carbono orgânico do solo (g kg ⁻¹)
Dp	Densidade de partículas do solo (Mg m ⁻³)
m²	Metro quadrado
ha	Hectare
min	Minuto

s	Segundo
Ds	Densidade do solo (Mg m^{-3})
θ	Umidade volumétrica do solo ou umidade em base volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
Ψ_m	Tensão de água no solo (kPa ou MPa)
exp	Exponencial
θ_{CC}	Umidade volumétrica do solo na capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
θ_{PMP}	Umidade volumétrica do solo no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
Mac	Macroporosidade, poros de diâmetro superior a $50 \mu\text{m}$ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
Mic	Microporosidade, poros de diâmetro inferior a $50 \mu\text{m}$ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
Ksat	Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1})
mm h^{-1}	Milímetro por hora
Pt	Porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
Ka	Permeabilidade do ar no solo (μm^2)
ρ	Densidade do ar (kg m^{-3})
kg m^{-3}	Quilograma por metro cúbico
m s^{-2}	Metro por segundo quadrado
Δv	Volume de ar (m^3)
Δt	Intervalo de tempo (s)
L	Comprimento (m)
Δp	Pressão de ar aplicada (hPa)
mm min^{-1}	Milímetro por minuto
Log_{10}	Logaritmo em base dez

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Descrição geral do perfil na área do experimento	91
APÊNDICE B – Análises físicas e químicas do solo	92
APÊNDICE C – Raízes de noqueira-pecã	93
APÊNDICE D – Raíz de noqueira-pecã após lavagem e secagem ao ar livre	93

Sumário

1 INTRODUÇÃO	16
2 Hipóteses	18
3 Objetivos Gerais e Específicos	18
3.1 Objetivo Geral	18
3.2 Objetivos Específicos	18
4 REVISÃO DE LITERATURA	19
4.1 Caracterização da espécie	19
4.2 Origem e história	20
4.3 Cultivares de Nogueira-pecã	20
4.4 Clima	21
4.5 Doenças e pragas da nogueira-pecã	22
4.6 Manejo e fertilidade do solo	23
4.7 Estrutura e qualidade física do solo	24
4.8 Sistema Radicular	26
5 MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1 Área de estudo	27
5.2 Tratamentos	30
5.3 Análises físico-hídricas do solo	34
5.3.1 Densidade, porosidade, curva de retenção e condutividade hidráulica.....	34
5.3.2 Permeabilidade do solo ao ar.....	35
5.3.3 Agregados estáveis em água	38
5.4 Resistência do solo à penetração	39
5.5 Análise do estabelecimento e crescimento inicial	40
5.5.1 Sobrevivência (s%)	40
5.5.2 Diâmetro de colo e altura total das plantas	40
5.5.3 Coleta de amostras para a análise foliar	41
5.5.4 Biomassa aérea	41
5.5.5 Amostragem de raízes finas e grossas.	42
5.5.6 Sistema radicular total.....	43
5.6 Análise estatística	44
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
6.1 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total.	45
6.2 Permeabilidade do solo ao ar.....	48
6.3 Curvas de retenção e disponibilidade de água no solo	51
6.4 Condutividade hidráulica do solo saturado.....	54
6.5 Agregados estáveis em água e distribuição do tamanho.	55
6.6 Resistência do solo a penetração	59
6.6 Estabelecimento inicial da nogueira-pecã em função do tipo de preparo.	62
6.6.1 Porcentagem de sobrevivência e crescimento da nogueira-pecã.	62
6.7 Estado nutricional foliar da nogueira-pecã	65
6.8 Biomassa de raízes finas e grandes	67
6.9 Arranjo do sistema radicular.....	71
7. CONCLUSÕES	76
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1 INTRODUÇÃO

A economia do Brasil e, em especial a do Estado do Rio Grande do Sul, está fundamentada no setor primário, no qual as atividades agrícolas e florestais destacam-se. Estas proporcionam o desenvolvimento do meio rural, promovendo o aumento de postos de trabalhos.

Dos países da América do Sul, o Brasil é um dos maiores importadores de produtos de noqueira-pecã e tem gasto anualmente com importações US\$ 71.222 mil dólares o que equivale a 80 % do total de todas as nozes consumidas (MAPA, 2011). Entretanto, o negócio envolve milhões de dólares anuais, considerando os aspectos de transportes, distribuição e logística, e tende a crescer nos próximos anos. Em 2014 no Estado do Rio Grande do Sul, a produção foi de 1.695 toneladas de frutos secos numa área de 3.393 ha cultivados (EMATER/RS, 2014).

As fronteiras agrícolas para a expansão do cultivo da noqueira-pecã nos Estados Unidos da América e Europa encontram-se praticamente no limite e o consumo de noz-pecã continuará crescendo nas próximas décadas. Isso devido, em grande parte, à popularização do conhecimento de que a amêndoa não tem contra indicações médicas e nutricionais além de estar está ligada aos aspectos de longevidade e funcionalidade dos alimentos. Assim, tudo leva a crer que cultivar noqueira-pecã e produzir nozes continuará sendo um negócio altamente viável e ecologicamente adequado.

Nesse contexto, para que haja produção é necessário o entendimento das relações entre o cultivo e o solo, uma vez que este é considerado o alicerce dos sistemas de produção agrícolas. Assim, a degradação das propriedades físicas e químicas afetam a sustentação do crescimento vegetal e causam riscos ambientais, decorrendo em impactos negativos nas comunidades rurais o que reflete direta ou indiretamente no meio urbano. A isso se somam aspectos estratégicos de relevante valor econômico para o Brasil.

Em geral solos com profundidade efetiva e sem impedimentos físicos e químicos restritivos são favoráveis para o crescimento radicular e o desenvolvimento e produção satisfatória da noqueira. A baixa disponibilidade de fósforo, nitrogênio, zinco e a alta saturação por alumínio são os fatores químicos que limitam com mais intensidade a produção.

A madeira pode ser usada para a fabricação de móveis vergados. Os melhores resultados de vergamento foram encontrados para a madeira de nogueira-pecã, (GATTO, 2006) provavelmente, devido a sua estrutura anatômica, principalmente porosidade em anel.

Apesar de ser uma cultura introduzida no Brasil há muitas décadas, entre os motivos que o cultivo da pecã não prosperou foi devido à falta de respostas relacionadas sobre o preparo ideal do solo, fertilidade, doenças e cultivares adaptadas ao solo e clima. Isso evidencia que são imprescindíveis pesquisas específicas sobre o manejo do solo e crescimento da nogueira-pecã.

A disponibilidade de água, aeração, agregação e resistência mecânica do solo são os fatores físicos inter-relacionados que mais afetam o desenvolvimento da nogueira-pecã. No entanto, em condições de campo, com variações na umidade do solo ocorrem alterações na aeração e na resistência à penetração de raízes formando complexas interações e que atuam no sistema solo-planta.

Assim, através de análises quantitativas do solo e qualitativas do sistema radicular e parte vegetativa será possível avaliar a qualidade física do solo, o crescimento e o preparo adequado para o melhor desenvolvimento da nogueira-pecã.

2 Hipóteses

1. O preparo altera as propriedades físicas do solo, o que favorece o crescimento radicular e estabelecimento da noqueira-pecã, uma vez que proporciona um ambiente com menor resistência mecânica, melhor aeração e disponibilidade de água.
2. Quanto maior a mobilização do solo conforme o método de preparo, maiores serão as alterações físicas do solo e melhor será o estabelecimento e crescimento inicial da noqueira-pecã.

3 Objetivos Gerais e Específicos

3.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito de diferentes métodos de preparo de solo sobre o estabelecimento e crescimento da noqueira-pecã no Argissolo Vermelho e, analisar por meio das propriedades físico-hídricas no solo condições que possam favorecer o crescimento radicular e aéreo da planta.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito de diferentes métodos de preparo sobre a densidade, porosidade, retenção de água, aeração, agregação e resistência mecânica do solo à penetração.
- Determinar qual o preparo de solo que favorece a sobrevivência e estabelecimento inicial da noqueira-pecã.
- Avaliar o sistema radicular e parte aérea no crescimento inicial da noqueira-pecã, nos diferentes preparos de solo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Caracterização da espécie

A noqueira-pecã *Carya linoensis* (Wangenh) K. Koch pertence a família Juglandaceae (GRAUKE, 1991; REIGER, 2004). Considerada como árvore de folhas caducas, que pode atingir grande porte, superando os 30 metros de altura, diâmetro a altura do peito de 150 cm e 40 metros de diâmetro de copa. A longevidade pode superar 200 anos ou até mais de mil anos (ADAMS, 1976; HALL, 2000).

A noqueira-pecã é monóica, com flores masculinas e femininas separadas. As flores são dióicas, apétala feminina, com um perigônio escamoso, muito insignificante; as flores masculinas não tem perigônio, formando amentilhos. O fruto é uma drupa, agrupando-se em cachos com normalmente, de três a sete unidades, com epicarpo que se separa do fruto, na maturação. A parte aproveitável apresenta-se entre 45 e 60 % do fruto (ROUSSEAU, 1976).

A composição química em nutrientes e outros compostos bioativos da noqueira-pecã é uma das que tem valor nutritivo superior entre outras diferentes nozes e sementes comestíveis, relacionando-a com a nutrição e saúde (ORTIZ, 2000; PRADO et al., 2013). O consumo elevado desses fotoquímicos está associado com a redução do risco de doenças cardiovasculares e de alguns tipos de câncer, como de próstata, esôfago, estômago, cólon e reto. Assim, é recomendável o consumo de alimentos que contêm quantidades significativas desses compostos, como é o caso das nozes e sementes comestíveis (JENKINS et al., 2002).

Trata-se de uma espécie da qual a amêndoa do fruto pode ser consumida ou fornecer óleo; a casca, além do chá, pode ter seus resíduos usados em confecções de vasos, fornos e caldeiras, as folhas são medicinais e servem como fertilizante (USDA, 2000).

4.2 Origem e história

Frutas fósseis incluindo nozes e casca associados ao gênero *Carya* (Juglandaceae) são descritas a partir do período Mioceno ao antigo Plioceno, há cerca de 5 milhões de anos, no nordeste do Tennessee, leste dos Estados Unidos. (HUANG et al., 2014). Os invólucros da casca são elípticos, 1,2 - 4,5 mm de espessura, com uma face exterior convexa e uma face interior côncava e formato globoso a ovóide, forma suave e longitudinalmente com nervuras na superfície exterior, com um ápice curto salientes e uma base ligeiramente angular; nervuras internas, lacunas e septos primários são bem desenvolvidos, enquanto septos secundário estão ausentes ou pouco desenvolvidos. Estes fornecem informações cruciais para uma melhor compreensão e rápida diversificação do gênero a partir do final do Mioceno até o início do Plioceno, e da origem e estabelecimento na biodiversidade da região ao gênero atual da *Carya sp.* (ZHANG, et al, 2013)

A noqueira-pecã foi identificada no século 16 pelos colonizadores espanhóis no México e nos Estados Unidos da América. O fruto era amplamente usado como fonte de alimento pelos indígenas e colonizadores (GRAUKE; THOMPSON, 1996). No início do século XVII ela passou a ser cultivada pelos ingleses em vários Estados Americanos, cita-se: Texas, Alabama, Mississipi e Geórgia.

A noqueira foi introduzida pelos imigrantes norte-americanos nas cidades de Santa Bárbara D'Oeste e Americana no Estado de São Paulo em 1870. (GRAUKE, 1985). Hoje, ela é cultivada nos Estados do Sul e Sudeste do Brasil. No México existem pomares, em plena produção, com mais de 200 anos. Nos Estados Unidos, existem exemplares de noqueira-pecã plantadas há mais de 400 anos.

4.3 Cultivares de Noqueira-pecã

Atualmente na região Sul do Brasil os pomares de nozes pecã, são compostos por uma mistura de variedades nas quais se destacam: Barton, Shoshone, Shawnee, Choctaw, Melhorada, Desirable, Pawnee e Cape Fear. Estima-se que até 2008 cerca de 50% das cultivares eram constituídas pela variedade

Barton. Esta variedade tem recebido mais atenção por grande volume de produção, em comparação com outras variedades de noqueira-pecã (Divinut, 2011).

Segundo estudo realizado por kumar et al., (2013) com as cultivares: Barton, Western Schley, Mahan, e Burkett, existe correlação positiva com alta produção e características fenotípicas. A escolha de sementes com peso maior da amêndoa, altura e largura da noz são características decisivas para o melhoramento genético da cultivar. No entanto para composições de proteínas, lipídios, carboidratos, e fibras não houve correlação significativa para o tamanho e peso da noz.

4.4 Clima

O cultivo da noqueira-pecã é encontrado em locais de clima úmido e frio, caracterizado por invernos frios, verões amenos e não secos com precipitações entre 760 e 2010 mm. Para o melhor desenvolvimento da cultura e à qualidade dos frutos são favoráveis as condições de clima ameno. As temperaturas médias na época de frutificação podem estar entre 27°C e 41°C. Destacam ainda que a planta suporta frios de até 29°C negativos (HERRERA, 2000; LIPE, 2009). Os mesmos autores verificaram que o volume da copa e área foliar estão relacionados ao consumo maior ou menor de água. Todavia, em locais com precipitações maiores que 1200 mm são cultivados pomares com densidades de até 200 plantas por ha⁻¹. Em regiões com precipitações entre 700 e 1000 mm ano⁻¹ são cultivados 50 a 100 plantas por hectare.

As limitações impostas ao tempo necessário para o desenvolvimento do fruto e do tamanho da nozes estão relacionados ao clima, solo e localização geográfica. Sparks (1991) investigou a origem de 46 cultivares de noqueira-pecã *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch nos Estados Unidos da América e constatou dois diferentes ecotipos. Cultivares adaptadas a uma estação de crescimento de 160-180 dias, e as adaptadas a mais dias. Os dias necessários para o desenvolvimento do fruto variam de 137-198 entre cultivares. Existe uma influência genética substancial para o amadurecimento do fruto de cada cultivar. O peso da amêndoa aumentou linearmente com o tempo necessário para o desenvolvimento do fruto. Por esse

motivo a maturidade precoce da amêndoa está aparentemente relacionada com o tamanho menor da noz (THOMPSON et al., 1985).

4.5 Doenças e pragas da noqueira-pecã

A noqueira é considerada uma árvore com características de vigor vegetativo, precocidade, rendimento em nozes (20 a 30 kg de nozes/planta) e resistência ao ataque de pragas e doenças (ALDRED, 1997). As doenças mais conhecidas são: a) a sarna (*Cladosporium caryigenum* (sin. *Fusicladium effusum*) é a principal delas. No Brasil não existem fungicidas registrados para o combate da sarna; b) a fumagina (*Capnodium* sp.) está ligada ao pulgão amarelo (*Monelliopsis pecanis*) que antecede a superfície das folhas, frutos e ramos e excreta uma substância amarelada, essa que propicia o desenvolvimento do fungo; c) antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*); Essa doença afeta principalmente a cultivar Wichita. Provoca os maiores danos no epicarpo, causando queda do fruto ou diminuição no tamanho (ORTIZ; CAMARGO, 2005). d) filoxera (*Phylloxera russellae*), *Phylloxera devastatrix* Pergande), (*P. notabilis* Pergande). A filoxera é um pulgão (<1 mm de comprimento) que se alimenta somente da parte aérea e não de raízes na espécie *Carya illinoensis*. Segundo (Ortiz, 2000) na cultivar Barton, a filoxera se manifesta no primeiro e segundo ano de idade desaparecendo no terceiro ano.

Para condições edafoclimáticas do Estado do Rio Grande do Sul faltam conhecimentos quanto a resistência natural da noqueira frente às principais doenças. Para o sucesso do pomar é de suma importância na fase do planejamento da implantação, cultivares com resistência a doenças, podendo representar redução de gastos com tratamentos culturais. Produtos recomendados e medidas para o controle das doenças da noqueira-pecã no Brasil, praticamente não existem. (TERABE et al., 2008). Os mesmos autores relatam a presença de microrganismos nos frutos (cascas e amêndoas) de três cultivares (Burkett, Frotsher e Moneymaker), os quais foram encontrados associados, em porcentuais variáveis, *Alternaria* sp.; *Aspergillus ochraceus*; *A. flavus*, *A. niger*, *Cladosporium* sp., *Colletotrichum* sp.; *Fusarium* sp.; *Penicillium* sp.; *Rhizopus* sp. e *Bactéria* spp.

Doenças foliares também foram estudadas por Lazarotto et al. 2012, os quais relatam perdas na produção do fruto, reduzindo a área fotossinteticamente ativa quando as folhas são atacadas pelo patógeno *P. clavispora*. Segundo os autores em alguns pomares do Estado do Rio Grande do Sul, a taxa de ataque atingiu 80% das plantas.

As formigas cortadeiras do gênero *Atta* e *Acromymex* são consideradas as principais pragas que atacam as mudas de noqueira-pecã. As lebres (*Lepus europaeus*) também são animais que podem prejudicar ou destruir as noqueiras. Ao roer a casca do tronco cortam os vasos lenhosos que levam a seiva para a parte aérea da planta.

4.6 Manejo e fertilidade do solo

A noqueira-pecã, embora possa ser produzida em outras classes de solo que apresentem tais características, se desenvolve melhor em solos de textura média, arenosos, profundos, bem drenados e com boa disponibilidade de nutrientes (CALL et al., 2006). Solos sujeitos a encharcamentos devem ser evitados. Cresce em solos de acidez média a baixa, podendo produzir bem na faixa de pH de 6,0 a 6,5. Quanto à calagem, recomenda-se o uso de calcário dolomítico, pois a noqueira responde bem tanto à aplicação de cálcio, quanto à de magnésio, em função da produção e qualidade de frutos (USDA, 2001).

Conforme Aldred (1997) a noqueira tem adaptação melhor em solos aluviais e franco argilosos, onde o sistema de preparo convencional com aração e gradagens é o mais usado.

O preparo de solo visa diminuir a resistência e facilitar o desenvolvimento do sistema radicular das árvores, que passam a explorar maior volume de solo, aumentando sua absorção de água e nutrientes (STAPE et al., 2002) e também eliminando plantas indesejáveis próximas das mudas evitando a competição (GATTO et al., 2003).

Segundo Pond et al. (2006) plantas de noqueira-pecã tem um teor limiar mínimo de cada nutriente, seja ele micro (Zn (zinco), Bo (boro) Fe (ferro), Mn (manganês) e Cu (cobre) ou macro (N (nitrogênio), P (fósforo), K (potássio), Ca

(cálcio), Mg (magnésio) necessários para que o crescimento, floração e produção da castanha possam ocorrer de forma otimizada. Quando as concentrações de nutrientes no tecido ficam abaixo desse limiar, ocorre um declínio no pomar e as árvores apresentam sintomas nas folhas e frutos. Da mesma forma, o desempenho do pomar pode ser afetado negativamente quando o conteúdo de um nutriente é excessivo, atingindo níveis tóxicos no tecido vegetal. Deficiências nutricionais leves podem não ser percebidas visivelmente, embora possam afetar o crescimento e produção no decorrer do tempo. (MORENO et al., 2009).

Segundo Kim et al. (2002), os nutrientes mais importantes para a noqueira-pecã destacam-se o nitrogênio (N) e o zinco (Zn). A deficiência destes nutrientes afeta o crescimento internodal dos ramos e folhas, prejudicando florescimento e produção dos frutos. A absorção das taxas de nitrogênio pela planta da noqueira-pecã, segundo Acuna-Maldonado et al. (2003) é de 70 % na fase vegetativa e 30 % na fase dormente. Para a noqueira-pecã cultivada em solo arenoso a deficiência de Zn apresenta sintomas de necrose intervenal nas folhas com as concentrações de Zn de $7,2 \text{ mg g}^{-1}$, manchas em $9,8 \text{ mg g}^{-1}$, e não apresenta sintomas em folhas com $11,2 \text{ mg g}^{-1}$ (KIM et al., 2002; WELLS, 2009).

4.7 Estrutura e qualidade física do solo

A qualidade física do solo diz respeito à capacidade do mesmo em promover ao sistema radicular das plantas condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento. O teor de água no solo controla a aeração, a temperatura e a impedância mecânica, os quais são afetados pela densidade do solo e distribuição do tamanho de poros. Esses fatores juntos interagem e regulam o crescimento e funcionalidade das raízes refletindo diretamente na produtividade dos cultivos (REICHERT et al., 2003).

Em solo com boa qualidade física espera-se encontrar uma rede de poros contínua e com ampla variação de diâmetros, que proporcione boa drenagem, e aeração, mantendo também, um adequado teor de água disponível para as plantas, e ainda facilite a penetração das raízes e permita as trocas de gases e temperatura. Streck (2007) trabalhando com diversos solos do sul do Brasil encontrou uma melhor

configuração de poros no solo na floresta nativa e, portanto, menor restrição física para o crescimento das raízes das plantas, quer seja por aeração, restrição mecânica ou por características de retenção de água.

A degradação da estrutura do solo provoca efeitos negativos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com prejuízos ao desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, na produção das culturas agrícolas (CAMARGO & ALLEONI, 1997). A degradação da estrutura do solo altera a arquitetura dos poros, e quando o volume, dimensão e configuração dos poros do solo são afetados, o movimento de massa e energia no ambiente do solo sofrem o mesmo efeito (HAKANSSON & LIPIEC, 2000). Segundo Klein & Libardi (2002), as principais conseqüências da compactação nas propriedades físicas do solo são o aumento da densidade, diminuição do tamanho dos poros e redução da condutividade hidráulica. Os macroporos do solo são rapidamente drenados e representam a porosidade de aeração quando a umidade estiver na capacidade de campo. A porosidade de aeração representa a razão entre o volume de ar e o volume do solo, sendo, portanto, afetado pela umidade e pela compactação do solo (HILLEL, 1998).

Na literatura vários trabalhos demonstram que no processo de compactação do solo, ocorre aumento na densidade com redução, ou total desaparecimento dos poros grandes do solo (KLEIN; LIBARDI, 2002; SILVA et al., 2005). Por outro lado, assume-se que a porosidade de aeração mínima a partir da qual as raízes da maioria das culturas podem se desenvolver deve ser de aproximadamente $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (KIEHL, 1979; KLEIN; LIBARDI, 2002). O transporte de gases no solo é governado principalmente por dois processos: a convecção e a difusão (HILLEL, 1998). Segundo esse autor a permeabilidade do ar é o coeficiente que governa o fluxo convectivo do ar no solo, e está relacionado ao tamanho e continuidade da porosidade de aeração do solo. A permeabilidade do ar não é apenas importante para aeração do solo, mas também é um indicador que revela as mudanças na eficiência e funcionalidade do sistema poroso, conforme a deformação (PETH; HORN, 2006).

4.8 Sistema Radicular

Para o desenvolvimento das plantas o sistema radicular é um dos principais componentes, desempenhando processos vitais tais como absorção de água, nutrientes e sustentação da estrutura arbórea. (QUING-CHENG, 2002). O crescimento e a quantidade de raízes em espécies arbóreas têm influencia significativa no processo do armazenamento e ciclagem de nutrientes (FAHEY; HUGHES, 1994).

A quantidade de raízes finas é influenciada por condições inerentes ao solo, tais como, fertilidade do solo, disponibilidade de água, estrutura do solo, temperatura, disponibilidade de oxigênio e potencial genético da planta (SCHENK, 2006; BIAO et al., 2007). A competição com plantas infestantes, impedimentos físicos do solo e o espaçamento entre árvores também podem dificultar o desenvolvimento das raízes (REIS et al., 1989; GONCALVES; MELLO, 2004; SMITH; CHEARY, 2014).

O tamanho do recipiente de formação das mudas influencia o desenvolvimento do sistema radicular, dependendo do tempo de permanência podem causar deformações nas raízes, o que pode comprometer o desenvolvimento inicial das mudas a campo. (BARROSO et al, 2000; PAULINO et al, 2003)

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

A área onde se desenvolveu o estudo pertence à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisas de Recursos Florestais (FEPAGRO FLORESTAS), localizado no município de Santa Maria, no Rio Grande do Sul (Figura 1). O Centro de Pesquisas encontra-se localizado entre as coordenadas geográficas 29°40'19" de latitude sul e 53°54'45" de longitude Oeste de Greenwich e altitude média de 138 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido, sem ocorrência de estiagens. Tem como características climáticas principais a temperatura média anual de 19°C, precipitação média anual de 1.769 mm e umidade relativa de 82 % (MORENO, 1961).



Figura 1 - Localização da área experimental no município de Santa Maria – RS. (Imagem do Google Earth acessada em dezembro de 2011).

A vegetação natural predominante é a de campo natural. As matas nativas são representadas apenas por formações de galerias ao longo de cursos d'água (ABRÃO et al., 1988).

A área utilizada para o experimento encontrava-se em pousio a mais de 20 anos e não apresentava características de degradação. A cobertura vegetal era de gramíneas nativas e arbustos.

A classe de solo do experimento foi estudada e descrita como Argissolo Vermelho distrófico arênico, conforme perfil aberto na área experimental. Pertence à Unidade de Mapeamento São Pedro (BRASIL, 1973). Esta unidade de mapeamento caracteriza-se por apresentar solos mediamente profundos, não hidromórficos, avermelhados, textura superficial franco arenosa, friáveis e bem drenados e possuem B textural. São solos ácidos e pobres em matéria orgânica (STRECK et al., 2002; EMBRAPA, 2006). As análises físicas e químicas deste solo se encontram no Apêndice A.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), utilizando amostras de solo com estrutura alterada. A dispersão das amostras de solo foi realizada por agitador horizontal com 120 rpm durante 4 horas, utilizando vidros de 100 mL contendo 20 g de solo, 10 mL de NaOH 6% (dispersante químico), 50 mL de água destilada e duas esferas de nylon com peso de 3,04 g, diâmetro de 1,71 cm e densidade de 1,11 g cm⁻³ (Suzuki et al., 2004a; Suzuki et al., 2004b). A composição granulométrica da área encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição granulométrica e densidade de partículas do solo da área de implantação de noqueira-pecã nas diferentes camadas, FEPAGRO Floresta, Santa Maria – RS.

Camadas m	Areia			Silte	Argila	Densidade Partículas	Classe Textural
	Grossa	Fina	Total				
0,00 – 0,20	310	422	732	136	132	2,59	Franco arenosa
0,20 – 0,40	298	369	667	135	198	2,58	Franco arenosa
0,40 – 0,60	267	347	614	138	248	2,58	Franco argilo areno:

*Argila: partículas de diâmetro menor que 0,002 mm; Silte: partículas de diâmetro entre 0,05 a 0,002 mm; Areia fina: partículas de diâmetro entre 0,2 a 0,05 mm; Areia grossa: partículas de diâmetro entre 2 a 0,2 mm.

Foi realizada uma amostragem de solo nas diferentes profundidades da área de estudo para a determinação das propriedades químicas do solo (Tabela 2). O solo apresentou, segundo os padrões florestais e das exigências da noqueira-pecã, média a baixa fertilidade, quanto aos teores de P, K e Ca (CQFS-RS/SC, 2004). Diante disso, fez-se a correção da fertilidade somente na cova do plantio.

Foi usado fertilizante granulado na dose de 200 g/planta⁻¹ de NPK com fórmula 5-20-20 e 300 gramas de calcário dolomítico no plantio das mudas de noqueira, incorporados no solo da cova o qual foi baseado na recomendação do CQFS-RS/SC (2004).

Tabela 2 - Caracterização química do solo da área de implantação de noqueira-pecã nas diferentes profundidades, FEPAGRO Floresta, Santa Maria – RS.

Camadas m	M O %	pH – H ₂ O	Al	Mg	Ca	P	K	Zn
			cmolc dm ⁻³ (1)			mg dm ⁻³ (2)		
0,00 – 0,20	1,6	5,6	0,1	1,2	3,3	5,3	92	2,4
0,20 – 0,40	1,4	5,1	0,7	1,3	2,9	3,8	56	1,6
0,40 – 0,60	1,2	4,3	2,1	0,9	2,4	2,2	40	0,6

Determinado segundo Tedesco et al. (1995); (1) extraído por KCl 1 mol l⁻¹, (2) extraído por Mehlich 1 (Tedesco et al., 1995).

Para averiguar que o solo na cova não apresenta deficiências nutricionais e que o desenvolvimento inicial da noqueira-pecã é consequência do efeito do preparo do solo empregado, realizou-se a análise química do solo em cada tratamento, visando identificar alguma deficiência nutricional conforme Tabela 3.

Para as determinações das propriedades químicas do solo, foi realizada a análise de pH em água, MO, P, K, Ca, Mg, S, Cu, B, Zn e Al. Estas determinações químicas seguiram a metodologia descrita em TEDESCO et al. (1995). O P e K disponíveis foram obtidos pelo extrator de Mehlich.

Tabela 3 - Caracterização química do solo na cova do plantio da nogueira-pecã nas diferentes camadas após 24 meses, FEPAGRO Floresta, Santa Maria – RS.

Preparo	Camada	pH	P	K	M.O	Al	Ca	Mg	Zn	Cu	S	B
	(m)	H ₂ O	-- mg/dm ³ --		(%)		-- cmol _c /dm ³ --			--- mg/dm ³ ----		
PCP	0,00-0,10	5,3	92,1	140	3,4	0,1	6,88	2,53	4,65	0,29	12,8	0,10
PCP	0,10-0,20	6	113	108	2,7	0,0	11,18	3,40	4,95	0,19	13,2	0,30
PCP	0,20-0,40	6,2	113	140	2,8	0,0	12,30	4,12	7,20	0,32	11,7	0,40
SG	0,00-0,10	4,8	18,9	76	2,6	0,2	3,81	1,66	2,44	1,08	13,6	0,40
SG	0,10-0,20	4,7	44,6	76	2,6	0,2	4,18	1,63	4,17	1,38	15	0,10
SG	0,20-0,40	4,7	109,6	96	2,1	0,6	4,36	1,55	6,31	0,86	14	0,30
ER	0,00-0,10	4,1	78,1	88	3,0	0,9	1,24	0,42	3,24	0,63	15	0,30
ER	0,10-0,20	4,6	103,3	100	2,5	0,2	4,17	1,39	6,20	0,63	13	0,40
ER	0,20-0,40	5,6	109,6	160	2,4	0,0	8,57	3,77	8,17	1,21	8,0	0,30
PCG	0,00-0,10	4,4	8,4	128	4,0	1,8	1,43	0,54	3,03	0,50	14,6	0,30
PCG	0,10-0,20	4,6	33,4	128	2,3	0,3	4,18	2,18	3,52	1,39	14,8	0,20
PCG	0,20-0,40	5,6	92,1	140	1,8	0,0	7,14	2,81	3,91	0,62	12,7	0,10

Plantio com cova pequena de 0,20 x 0,60 m (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 0,40 x 0,60 m (PCG).

5.2 Tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com os seguintes tratamentos e cinco blocos (Figura 2): T1 - Plantio com cova pequena de 0,20 x 0,60 m de profundidade (PCP); T2 - subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); T3 - enxada rotativa e cova pequena (ER); T4 - plantio com cova grande de 0,40 x 0,60 m de profundidade (PCG).

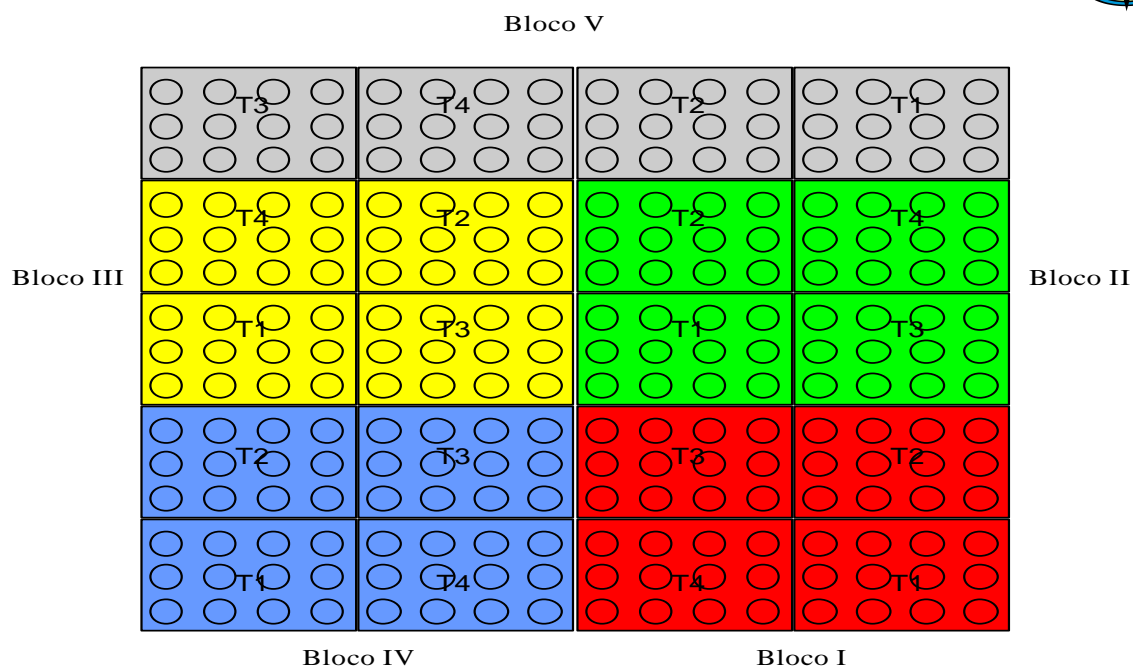


Figura 2 - Croqui do experimento com a definição dos tratamentos (preparos do solo) e distribuição dos blocos.

Os tratamentos foram distribuídos em cinco blocos com parcelas de 28 x 21 m (588 m²) o que totaliza 11.760 m² de área experimental (Figura 3).

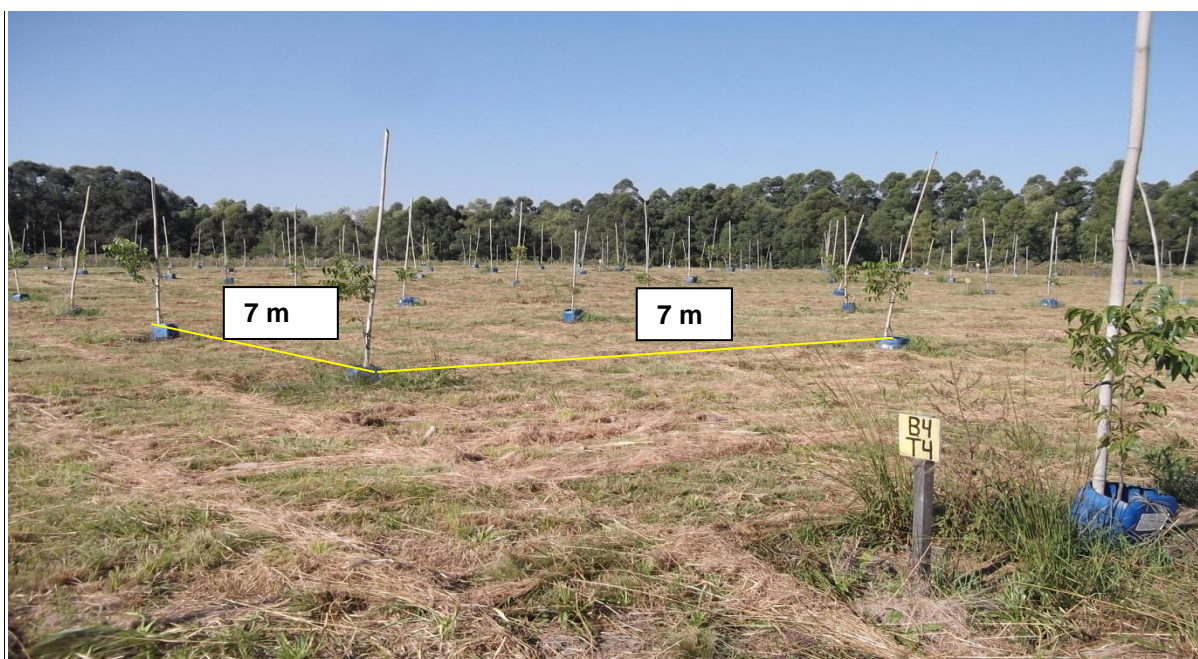


Figura 3 - Área experimental nogueira-pecã e espaçamento 7 x 7 m (detalhe em amarelo) após 12 meses do plantio.

Foram realizados os seguintes preparos do solo: subsolagem a 0,40 m de profundidade mais grade niveladora (SG); enxada rotativa (ER); covas pequenas de 0,60 x 0,20 m e covas grandes de 0,60 x 0,40 m de profundidade e largura respectivamente (Figuras 4 a e b, c, d, e). Para as covas pequenas foi usado uma broca perfuradora adaptada na motosserra. As covas PCP foram realizadas com um perfurador caracol mecanizado pelo trator.

As mudas de *Carya Illinoensis* K. utilizadas no experimento foram doadas pela empresa Divinut Indústria de Nozes Ltda, do município de Cachoeira do Sul (RS). Essas foram produzidas a partir de sementes oriundas de pomares da Divinut e enchertadas com variedades Barton e Shawnii.

O plantio foi realizado nos dias 12 e 13 de fevereiro de 2012 (Figura 4 f). A idade das mudas na ocasião do plantio era de aproximadamente 2,5 anos. O espaçamento entre plantas é de 7 x 7 m com cada tratamento composto por 12 plantas, totalizando 240 plantas de noqueira-pecã.

Sessenta dias após o plantio, as mudas receberam a cada 15 dias 20 gramas de ureia (42 % de N) durante 60 dias. Foram realizadas aplicações de formicidas e roçadas mecânicas com trator na linha e entrelinha, além de reaplicação de herbicida glifosato na coroa entre as plantas, a fim de reduzir ou evitar o efeito do mato-competição. Foi necessário proteger as plantas com barreiras de embalagens recicladas para evitar que roedores quadrúpedes roessem a casca ou o ápice da planta.

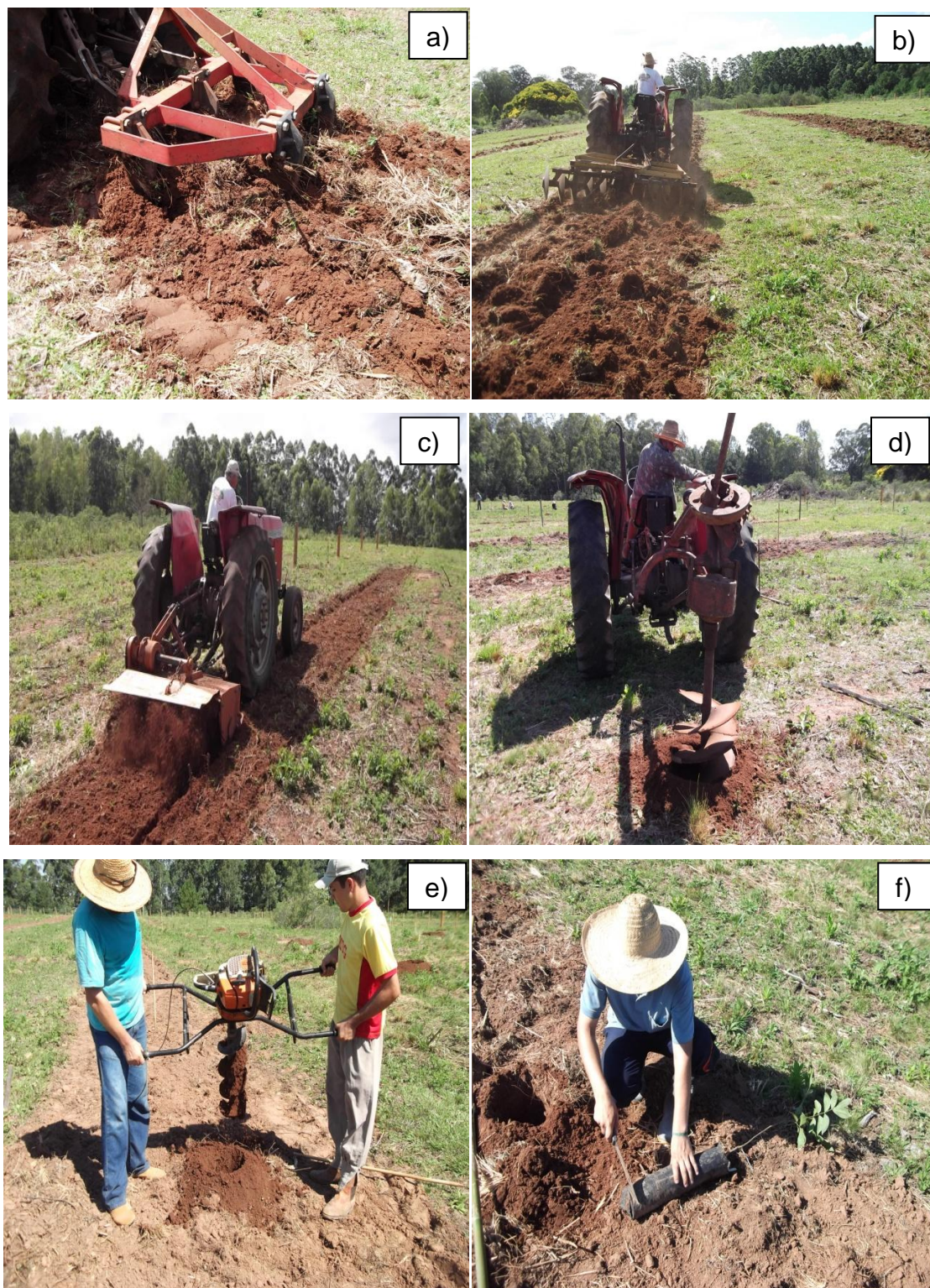


Figura 4 - Subsolador utilizado para subsolagem (a), grade niveladora concomitante a subsolagem (b), enxada rotativa (c), perfurador grande (d), perfurador pequeno (e) plantio da muda de noqueira-pecã (f).

5.3 Análises físico-hídricas do solo

5.3.1 Densidade, porosidade, curva de retenção e condutividade hidráulica

Foram coletadas amostras com estrutura preservada nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60 m. As amostras com estrutura preservada foram coletadas com anéis volumétricos medindo 5,7 cm de diâmetro por 4 cm de altura em trincheiras entre plantas de noqueira-pecã (Figura 5).



Figura 5 - Extração de amostras preservadas de solo. FEPAGRO Floresta, Santa Maria - RS

As propriedades físicas do solo analisadas foram: densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, condutividade hidráulica, curva de retenção de água e distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água.

As determinações da granulometria, argila natural, matéria orgânica do solo (MOS) densidade de partículas (D_p), densidade do solo (D_s), foram segundo EMBRAPA (1997).

As amostras de estrutura preservada, coletadas com anel volumétrico, com três repetições foram saturadas por ascensão capilar gradual e submetidas às tensões de: 6 kPa, 10 kPa, em coluna de areia para determinação da macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), porosidade total (PT) e capacidade de campo (θ_{cc}) respectivamente (REINERT; REICHERT, 2006). As tensões de 33 kPa e 100 kPa em câmara de pressão (KLUTE, 1986).

Para determinar o conteúdo gravimétrico de água no solo nas tensões de 500 kPa, 1000 kPa, e 1500 kPa foram usadas amostras de estrutura alterada e submetidas para leitura no potenciômetro de ponto de orvalho (Dew Point Potentiometer).

O conteúdo de água disponível (AD) no solo foi calculado pela subtração do valor de umidade volumétrica do solo correspondente à, obtido na tensão de água de 10 kPa (θ_{cc}), pelo valor de umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), obtido na tensão de 1500 kPa de acordo com Moniz (1972).

Com os valores da umidade volumétrica do solo e o potencial matricial foi realizado o ajuste da curva de retenção da água no solo utilizando o modelo de Wolfgang Durner (1994) por meio do programa computacional RETC (Retention Curve, 2009) e SWRC fit (*Soil Water Retention Curve Fit*) (SEKI, 2007). Segue a equação 1:

$$S = \sum_{i=1}^k w_i \left[\frac{1}{1+(\alpha x \psi)^{n_i}} \right]^{m_i} \quad [1]$$

Onde: k é o número de subsistemas que formam a distribuição de tamanhos de poros; w_i é o peso atribuído a cada distribuição; α , n e m são parâmetros de ajuste e Ψ é o potencial mátrico; $m = 1 - 1/n$ (para $n > 1$), conhecida como restrição de Muallen.

5.3.2 Permeabilidade do solo ao ar

Após o equilíbrio em cada tensão, mediu-se o fluxo de ar nas amostras, utilizando-se um permeâmetro de carga constante de ar (Figura 6). O equipamento é composto por uma série de fluxímetros com diferentes vazões, por onde o ar flui antes de passar pelo solo. O ar é aplicado a baixa pressão (0,1 kPa) e constante,

para evitar o fluxo turbulento. O gradiente de pressão entre o ambiente e o ar que flui pela amostra é medido por um manômetro de água (KAISER, 2010).

A normalidade dos dados de permeabilidade ao ar (K_a) foi verificada com o teste de normalidade de Shapiro & Wilk (1965), e a distribuição dos dados de K_a dentro dos preparos foi encontrada como sendo assimétrica e não normal. Os logaritmos de K_a foram utilizados para tornar as distribuições mais próximas da normalidade (Groenevelt et al., 1984; Ball et al., 1988; Blackwell et al., 1990).

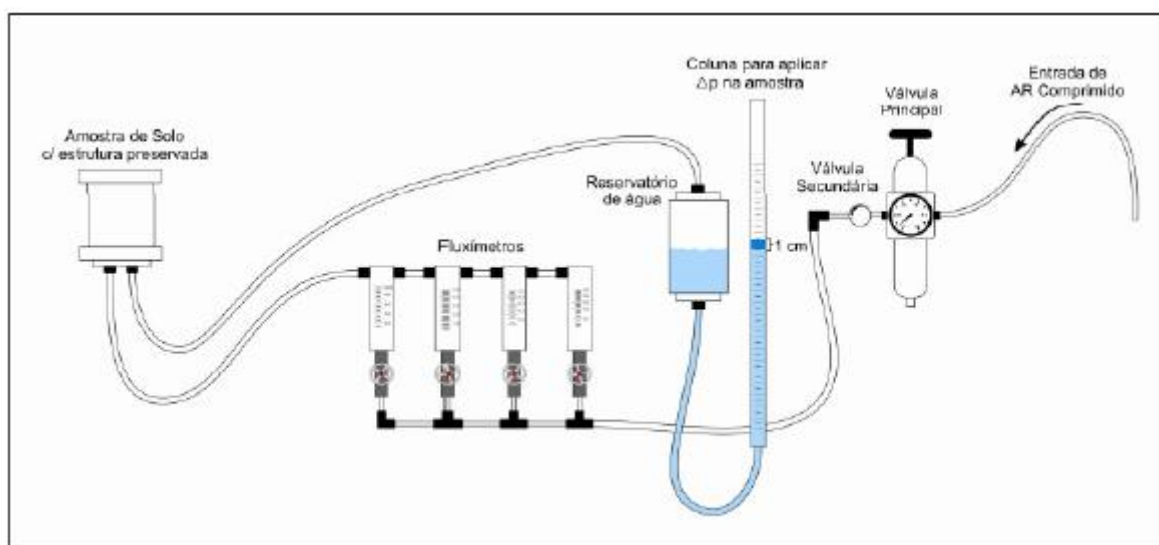


Figura 6 - Permeômetro de fluxo constante de ar utilizado nas medições de condutividade do solo ao ar em amostras com estrutura de solo preservada. Fonte: Abrão (2011).

A condutividade do ar no solo (K_l) é calculada usando-se a equação 2.

$$kl = \rho l * g \left(\frac{\Delta V * l}{\Delta t * \Delta p * A} \right) \quad [2]$$

Onde:

K_l = condutividade ao ar (cm s^{-1});

ρl = densidade do ar no momento da medida (g cm^{-3});

g = aceleração da gravidade (981 cm s^{-2});

ΔV = quantidade de ar que passa na amostra na Dt (cm^3);

Δt = variação de tempo (s);

l = altura da amostra (cm);

Δp = pressão do ar que passa pela amostra (1 cm de coluna de água = 1000 dinas cm^{-2} ; Dinas = g cm s^{-2});

A = área do cilindro (cm²)

A densidade do ar foi calculada com a equação 3.

$$\rho_l = \rho_n * \left(\frac{T_n * p}{p_n * T} \right) \quad [3]$$

Onde:

ρ_l = densidade do ar (kg m⁻³)

ρ_n = densidade padrão do ar (1,293 kg m⁻³)

T_n = temperatura padrão (273,15 ° K)

p = pressão atmosférica durante a medida (mbar)

p_n = pressão atmosférica padrão (1013 mbar)

T = temperatura do ar durante a medida (°K)

A partir da condutividade ao ar, calculou-se a permeabilidade do solo ao ar (K_a) utilizando a equação 4.

$$k_a = k_l * \left(\frac{\eta}{\rho_l * g} \right) \quad [4]$$

Onde:

K_a = permeabilidade ao ar (cm s⁻¹);

K_l = condutividade ao ar (cm s⁻¹);

h = Viscosidade do ar (g s⁻¹ cm⁻¹);

ρ_l = densidade do ar no momento da medida (g cm⁻³);

g = aceleração da gravidade (981 cm s⁻²)

O espaço aéreo ou porosidade de aeração (E_a) foi estimado para as camadas de 0,0 a 0,10; 0,10 a 0,20; 0,20 a 0,40 e 0,40 a 0,60 m, pela diferença entre a porosidade total (PT) e o conteúdo volumétrico de água (θ) no solo (Equação 5)

$$E = PT - \theta \quad [5]$$

O índice de continuidade de poros (C_p) foi estimado pela equação de Ball et al. (1988) (Equação 6), pela relação entre a permeabilidade de ar (K_a) e a porosidade de aeração (E_a):

$$C_p = \frac{K_a}{E_a} \quad [6]$$

Para quantificar a condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) em laboratório, as amostras de estrutura preservada foram ressaturadas, utilizando-se um permeômetro de carga variável (LIBARDI, 2005) (Figura 7). Após, as amostras foram levadas à estufa onde ficaram por 48 horas até atingir peso seco constante. Foram determinados a porosidade total (P_t) (EMBRAPA, 1997) e densidade do solo (D_s) (BLAKE; HARTGE, 1986).

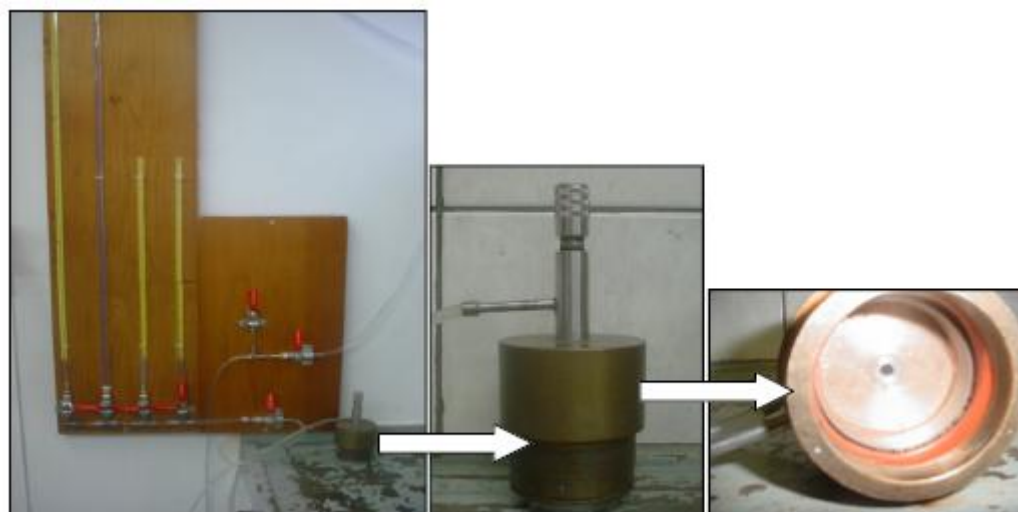


Figura 7 - Permeômetro de carga variável utilizado nas medições de condutividade hidráulica do solo saturado. Fonte: Kaiser (2010)

5.3.3 Agregados estáveis em água

A agregação do solo foi avaliada através do Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e porcentagem dos agregados estáveis em água em classes de tamanho para os diferentes preparos do solo. As avaliações foram realizadas aos quatro, 12 e 24 meses de idade. A distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água foi determinada nas camadas de solo de 0,0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m. A

metodologia utilizada foi o método padrão proposto por Kemper e Chepil (1965). As amostras de solo com estrutura preservada foram fracionadas observando o ponto de fraqueza, de tal forma que toda a massa de solo passasse na peneira de 8,0 mm, a qual foi posicionada sobre outra de 4,75 mm. Dos agregados retidos na peneira de 4,75 mm foram pesados, aproximadamente, 25 g e colocados sobre um conjunto de peneiras com malhas de 4,75; 2,0; 1,0 e 0,21 mm. As amostras foram umedecidas por 10 minutos, e depois submetidas ao peneiramento em imersão por mais 10 minutos em aparelho de oscilação vertical conforme Yoder, (1936).

Calculou-se a porcentagem de agregados obtidos em cada classe de peneira e o diâmetro médio geométrico (DMG) pela seguinte equação.

$$DMG = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n (AGRi \times \ln(ci))}{\sum_{i=1}^n AGRi} \right] \quad [7]$$

Em que: DMG= diâmetro médio geométrico; AGRi = massa de agregados da classe i (menos areias); $\sum_{i=1}^n AGRi$ = massa total de agregados (menos areias); ln = logaritmo neperiano; ci = valor médio de classe de agregados i (Ex. classe de 8 a 4,76, ci = 6,38)

5.4 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração (RP) foi medida por meio de um penetrômetro digital, (Eijkelkamp Penetroviewer 6 Data) de armazenamento eletrônico dos dados, possuindo ponta cônica com ângulo de penetração 30° e área basal de 129 mm², inserida no solo a uma velocidade de penetração de aproximadamente 1 m min⁻¹, sendo as leituras realizadas a cada 0,015 m de profundidade até 0,60 m. Concomitantemente à realização da penetrometria coletou-se amostras de solo com trado calador para determinação da umidade gravimétrica em cada camada. Os dados obtidos foram usados para gerar um mapa da distribuição espacial da RP no perfil, utilizando o software Surfer.

A resistência à penetração (RP) após o plantio foi determinada através de pontos de amostragem. A distribuição desses pontos foi realizada sistematicamente

através de quatro quadrantes em torno da planta. A partir do tronco da planta foram amostrados 3 pontos equidistantes: aos 0,15, 0,30 e 0,45 m. Para cada tratamento foram amostradas 3 plantas em 5 repetições.

5.5 Análise do estabelecimento e crescimento inicial

5.5.1 Sobrevivência (s%)

A sobrevivência, em porcentagem, foi determinada pela diferença entre o número de árvores plantadas na área útil da parcela e o número de árvores existentes na área útil da parcela, nas diferentes épocas das medições.

$$s\% = n_i / n_e \times 100$$

Sendo:

s% = sobrevivência em porcentagem;

n_i = número de árvores existentes na parcela no momento da medição;

n_e = número de árvores esperadas (60) por parcela .

5.5.2 Diâmetro de colo e altura total das plantas

Aos um, quatro, 8, 12, 24 e 32 meses de idade de plantio foram realizadas medições de altura total e diâmetro do colo a 0,05 m de altura, de todas as plantas da parcela após o plantio da noqueira-pecã. Para os procedimentos de medição foram utilizados um paquímetro digital, trena de metal e régua telescópica.

5.5.3 Coleta de amostras para a análise foliar

Foram coletadas no mês de março de 2014, 24 meses após o plantio, o par central de folíolos das folhas localizadas na porção média dos ramos, nos quatro quadrantes das plantas. Para cada amostra composta foram coletados aproximadamente 100 folíolos de 9 plantas representativas da área amostrada. As folhas foram secas em estufa de ventilação forçada no laboratório de Física do solo da UFSM a 50 °C de temperatura. A análise química do tecido foliar foi realizada no Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

Após a secagem e moagem das amostras de tecido vegetal foram realizadas as determinações dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn). O nitrogênio foi determinado pelo método Kjeldahl (digestão sulfúrica = $H_2SO_4 + H_2O_2$); fósforo e boro por espectrofotometria (P por digestão nítrica-perclórica e B por digestão seca); potássio por fotometria de chama; enxofre por turbidimetria; e cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco por espectrometria de absorção atômica (todos por digestão nítrica-perclórica), seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999).

5.5.4 Biomassa aérea

Os troncos das árvores foram seccionados a partir da base na altura de 0,05 m. Os troncos, galhos e folhas de cada árvore foram pesados no mesmo momento da coleta. O material foi armazenado em sacos de papel e levado ao Laboratório de Física do Solo da UFSM e seco em estufa de ventilação forçada a 50 ° C por 4 dias para posterior determinação da massa seca e teor de nutriente das folhas.

5.5.5 Amostragem de raízes finas e grossas.

A definição das árvores para a amostragem das raízes teve como base o diâmetro médio do colo da planta a aproximadamente 0,05 m de altura do solo. Depois de definidas as árvores, foi aplicado herbicida com princípio ativo Glifosato para a dessecação das plantas daninhas que se encontram presentes na área útil de coleta das raízes. Esse controle químico foi realizado um mês antes das coletas, para evitar a presença de raízes vivas de outras espécies.

A amostragem do sistema radicular de raízes finas com diâmetro $\leq 2,0$ mm foi realizada aos 26 meses de idade e no mês de abril de 2014. A distribuição desses pontos de amostragem foi realizada sistematicamente na entrelinha de plantio a partir do tronco da árvore nas distâncias 0,15, 0,30 e 0,45 m em 3 repetições nos 4 tratamentos. Foram realizadas extrações de solo e raízes com o auxílio de um tubo extrator cilíndrico em aço com 0,085 m de diâmetro interno em diferentes profundidades (0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m). Conforme metodologia adaptada de Viera, et al., (2012).

Após coletadas, as raízes finas foram lavadas com água corrente em um conjunto de peneiras sobrepostas de 2,0 e 1,0 mm de malha. A separação das raízes vivas das mortas foi feita visualmente com base nas características morfológicas, coloração e flexibilidade. Em seguida as amostras as raízes finas foram postas em embalagens de papel e secas a uma temperatura de 40° C e armazenadas em local seco, permitindo que as características originais das raízes permanecessem conservadas.

Posteriormente, as raízes foram colocadas sobre uma superfície de cor branca (folhas de papel A4) e fotografadas com o auxílio de câmera digital (Samsung, 12.0 Megapixels), apoiada em uma estrutura metálica com altura fixa de 0,5 m. Cada imagem digital obtida foi analisada com o auxílio do software ImageJ 1.49g for Windows 64 bits (2014), que determina diretamente o perímetro das raízes.

O comprimento das raízes foi calculado pela equação 7:

$$C = (P/2) \times V \quad [7]$$

Em que: C = comprimento (m); P = perímetro das raízes (m); V = volume do extrator (m^3).

Ao final amostras das raízes foram encaminhadas para secagem em estufa de circulação e renovação de ar (a 70°C) até atingir peso seco constante, sendo, determinada a massa seca (Ms) em balança analítica (precisão de 0,0001g). Para determinar a densidade de raízes foi usada a seguinte equação.

$$D_r = M_s/V \quad [8]$$

Onde: D_r = densidade de raízes ($g\ m^{-3}$); M_s = massa seca de raízes; V = volume do extrator.

5.5.6 Sistema radicular total

Foi coletado o sistema radicular total em três repetições para cada tratamento e bloco para análise do comprimento, densidade e massa seca das raízes (Apêndice C).

Na escavação das raízes foram utilizados: uma retroescavadeira, pás, enxadas, lava jato de pressão e facas. As mesmas foram expostas e coletadas em um raio de 1,0 m distante do tronco e a uma profundidade de 1,70 m, perfazendo um volume explorado de $5,3\ m^3$. Após a coleta, as mesmas foram pesadas e armazenadas em um local seco e arejado para secagem ao ar livre.

Para a determinação do comprimento, as raízes secas foram seccionadas em pedaços de 0,10 m colocadas sobre uma folha de papel cor branca de 1 x 0,80 m e fotografadas. A máquina fotográfica foi apoiada a altura fixa de 0,70 m em relação à posição das raízes. Foi utilizado o *software* ImageJ 1.49 g para a quantificação das mesmas.

O comprimento das raízes ($m\ m^3$) e a densidade do arranjo radicular foi determinado pela equações 7 e 8 respectivamente sendo V = volume do bloco de solo com raízes ($5,3\ m^3$).

5.6 Análise estatística

Os dados obtidos nas avaliações foram inicialmente submetidos à análise de distribuição normal através do teste de Shapiro Wilk procedendo-se com a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan ou Tukey a 5 % de significância. Quando os dados não seguiram a distribuição normal realizou-se a transformação dos dados. Para verificar a existência de inter-relações entre as propriedades físicas avaliadas e densidade de raízes, foram realizadas análise de correlação de Pearson, com nível de significância de 1 e 5%. As análises foram realizadas com os pacotes estatísticos SPSS 13.0 for Windows e ASSISTAT 2011 Versão 7.7 beta (SILVA, 2014).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total.

A densidade e a distribuição do tamanho de poros do solo são as características estruturais possíveis de serem alteradas pelo sistema de preparo do solo. Houve diferença significativa na densidade entre os tratamentos (Tabela 4) considerando-se as camadas avaliadas, e o efeito do revolvimento na desestruturação do solo, a densidade foi significativamente menor na superfície (0 a 0,10 m) no preparo ER e na subsolagem mais gradagem SG. Ocorreu um aumento significativo da densidade na camada de 0,10 a 0,20 m nos preparos PCP e PCG. Contudo, o valor de densidade do solo na camada de 0,10 a 0,20 m encontrado no sistema ER é maior que o valor considerado crítico ($1,65 \text{ Mg m}^{-3}$) para solos com textura arenosa, ($< 200 \text{ g kg}^{-1}$ de argila) proposto por Reichert et al. (2009).

Para espécies florestais de rápido crescimento, Gent et al. (1984), consideram que valores de $1,58 \text{ g cm}^{-3}$ em solos de textura argilosa na camada de 0 a 15 cm são limitantes, sendo que, para a camada de 10 a 25 cm quando os valores se aproximam de $1,80 \text{ g cm}^{-3}$ o crescimento de raízes cessa.

Observou-se ainda que, após dois anos da aplicação dos preparos os efeitos sobre a densidade persistem, o que está de acordo com Câmara e Klein (2005) os quais relataram que o efeito da escarificação pode persistir por anos em solo franco-arenoso. A densidade do solo aumentou com a profundidade, essa tendência também foi observada por Veiga et al (2008) analisando diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Vermelho na cidade de Campos Novos, SC. Segundo Silva et al (2000) e Silveira Junior (2012), alterações na densidade do solo em profundidade são funções da tendência natural do solo e do manejo adotado.

A porosidade (macroporosidade, microporosidade e porosidade total) do solo foi influenciada pelos sistemas de preparo adotados. Os quatro métodos de preparo do solo apresentaram redução no volume de macroporos em profundidade (Tabela 4). A maior macroporosidade superficial foi observada no ER, diferindo do SG e PCG não do PCP. Esta se deve ao efeito do revolvimento do solo por ocasião da enxada rotativa na camada até os 0,20 m (KROULIK, 2009). O volume de

macroporos observado foi maior ou próximo a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nos preparos com revolvimento e sem revolvimento, este considerado adequado para o desenvolvimento das plantas (GRABLE; SIEMER, 1968; REICHERT et al., 2007).

Em geral, os efeitos do revolvimento foram mais importantes na superfície nos dois preparos do solo SG e ER, visto que o volume de macroporos tendeu a decrescer com o aumento da profundidade. Estes resultados corroboram com Abreu et al. (2004) que encontraram maior macroporosidade na camada superficial no solo franco arenoso sob plantio direto. Este decréscimo em todos os sistemas se deve ao aumento da densidade do solo, ao menor teor de matéria orgânica e ao aumento do teor de argila em profundidade (REICHERT et al., 2007; RODRIGUES et al., 2011; PREVEDELLO et al., 2013).

A porosidade total nos diferentes preparos do solo variou de $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Tabela 4). De acordo com Prevedello (1996) e Wendling et al. (2012), a porosidade total tem variações em função da textura, teor da matéria orgânica e compactação do solo. Segundo os mesmos autores, em solos arenosos a variação é de $0,35$ a $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e em argilosos de $0,40$ a $0,65 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

A porosidade total do solo variou estatisticamente entre os preparos do solo PCP e ER na profundidade de $0,00$ - $0,10$ m. Os sistemas dos preparos PCP e PCG apresentaram a menor porosidade total na camada de $0,0$ - $0,10$ m enquanto os maiores valores foram identificados nos preparos SG e ER, na primeira camada (Tabela 4). Na camada $0,10$ - $0,20$ m houve uma redução significativa dos poros totais e um aumento na densidade.

Tabela 4 - Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), porosidade total (Pt) da noqueira-pecã (*Carya illinoienses*) para os preparos de solo avaliadas. FEPAGRO FLORESTAS, Santa Maria, RS.

Camada (m)	Preparo do solo				CV(%)
	PCP	SG	ER	PCG	
Densidade do solo (Mg cm ⁻³)					
0,00-0,10	1,55 a	1,54 a	1,41 a	1,58 a	15
0,10-0,20	1,66 a	1,65 a	1,46 b	1,73 a	12
0,20-0,40	1,52 a	1,58 a	1,64 a	1,59 a	16
0,40-0,60	1,60 a	1,47 b	1,52 a	1,61 a	15
Macroporosidade do solo (cm ³ cm ⁻³)					
0,00-0,10	0,16 ab	0,15 b	0,23 a	0,12 b	3
0,10-0,20	0,09 b	0,12 ab	0,17 a	0,07 b	3
0,20-0,40	0,09 b	0,08 b	0,13 a	0,08 b	3
0,40-0,60	0,08 a	0,09 ab	0,08 a	0,08 a	5
Microporosidade do solo (cm ³ cm ⁻³)					
0,00-0,10	0,25 a	0,27 a	0,25 a	0,28 a	5
0,10-0,20	0,24 ab	0,28 a	0,21 b	0,26 ab	6
0,20-0,40	0,27 ab	0,29 b	0,24 b	0,28 ab	10
0,40-0,60	0,30 b	0,35 a	0,32 ab	0,30 b	20
Porosidade total do solo (cm ³ cm ⁻³)					
0,00-0,10	0,41 b	0,42 ab	0,48 a	0,41 b	10
0,10-0,20	0,33 a	0,40 a	0,38 a	0,33 a	7
0,20-0,40	0,36 a	0,37 a	0,37 a	0,36 a	20
0,40-0,60	0,38 b	0,44 a	0,39 b	0,38 b	12

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Plantio com cova pequena de 0,20 x 0,60 m (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 0,40 x 0,60 m (PCG).

6.2 Permeabilidade do solo ao ar.

A permeabilidade do solo ao ar foi significativamente alterada pelos diferentes preparos do solo, nas diferentes tensões avaliadas (Figura 8). O preparo com enxada rotativa teve maior permeabilidade nas camadas de 0,00 - 0,10 e 0,10 a 0,20 m, em relação aos outros preparos em todas as tensões avaliadas e não diferiu entre os preparos do solo. Diferiu do PCP somente na camada 0,0 – 0,10 m e do SG na camada 0,10 – 0,20 m. Segundo Streck (2007) e Sequinatto (2010) os valores de permeabilidade são maiores na superfície do solo em relação às demais camadas, devido à maior quantidade e continuidade dos poros da superfície.

Em todos os preparos e camadas houve incremento de K_a com a redução do ψ_m . Isso porque os poros que estavam ocupados por água gradualmente cederam espaço para o processo de aeração: primeiramente os macroporos e, em seguida, os poros menores. A K_a apresentou, decréscimo na camada de solo 0,10- 0,20 m, no preparo SG, em função da redução de volume de macroporos (Tabela 4). Esse fato foi observado nos valores de ψ_m , em que os macroporos estão preenchidos por água (-6 kPa). Ou seja, o fluxo de ar preferencial ocorre pelos macroporos contínuos. Dessa forma, a permeabilidade ao ar, medida próxima à capacidade de campo, permite uma estimativa adequada da condutividade dos poros grandes (Iversen et al., 2003).

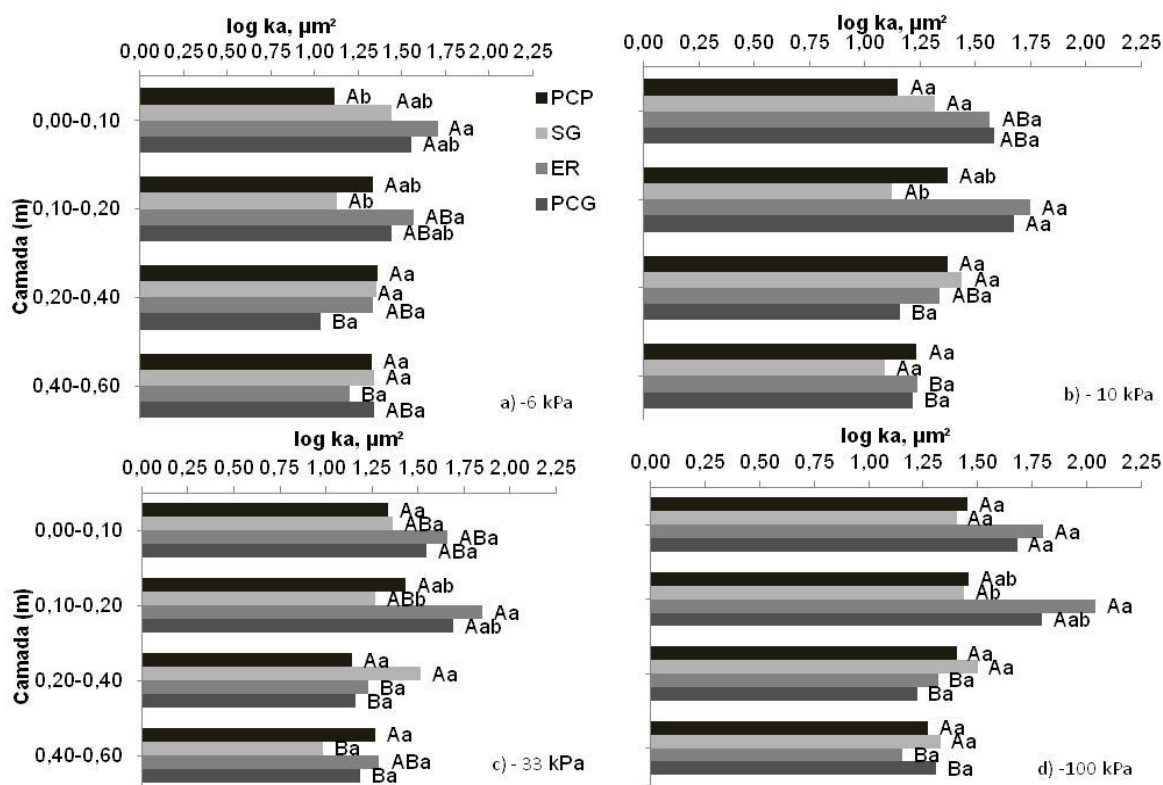


Figura 8 - Valores médios da permeabilidade ao ar. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas referem-se às camadas e minúscula aos preparos do solo, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Duncan com intervalo de confiança a 90 %. Plantio com cova pequena de 0,20 x 0,60 m (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 0,40 x 0,60 m (PCG).

Resultados semelhantes de K_a também foram obtidos por Silveira Junior (2012), que determinou a permeabilidade ao ar em solos submetidos a diferentes manejos e concluiu que ela se mostrou bastante dependente da macroporosidade, expressando as alterações na estrutura do solo quando a proporção de macroporos foi alterada.

Para determinar o índice de continuidade de poros k_1 , que corresponde ao cálculo da razão k_a/ϵ_a (GROENEVELT et al., 1984). Assim como k_a , o índice de continuidade de poros k_1 apresentou distribuição anormal, de forma que todas as análises foram executadas utilizando a transformação logarítmica. As análises de $\log k_a/\epsilon_a$ indicam efeitos significativos na porosidade, distribuição do tamanho e continuidade de poros entre os preparos propostos nos potenciais mátricos avaliados (Figura 9).

O índice de continuidade de poros é um indicativo da eficiência dos poros em permitir a passagem do ar (BALL et al., 1988). Nos preparos do solo SG e ER houve diferença significativa no índice de continuidade dos poros nas tensões avaliadas, apesar da grande diferença numérica entre os valores, o que é resultante da grande variabilidade desse parâmetro. Observa-se um aumento do índice de continuidade de poros onde o solo não foi mobilizado, principalmente no tratamento PCG nas camadas 0,0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m. (Figura 9)

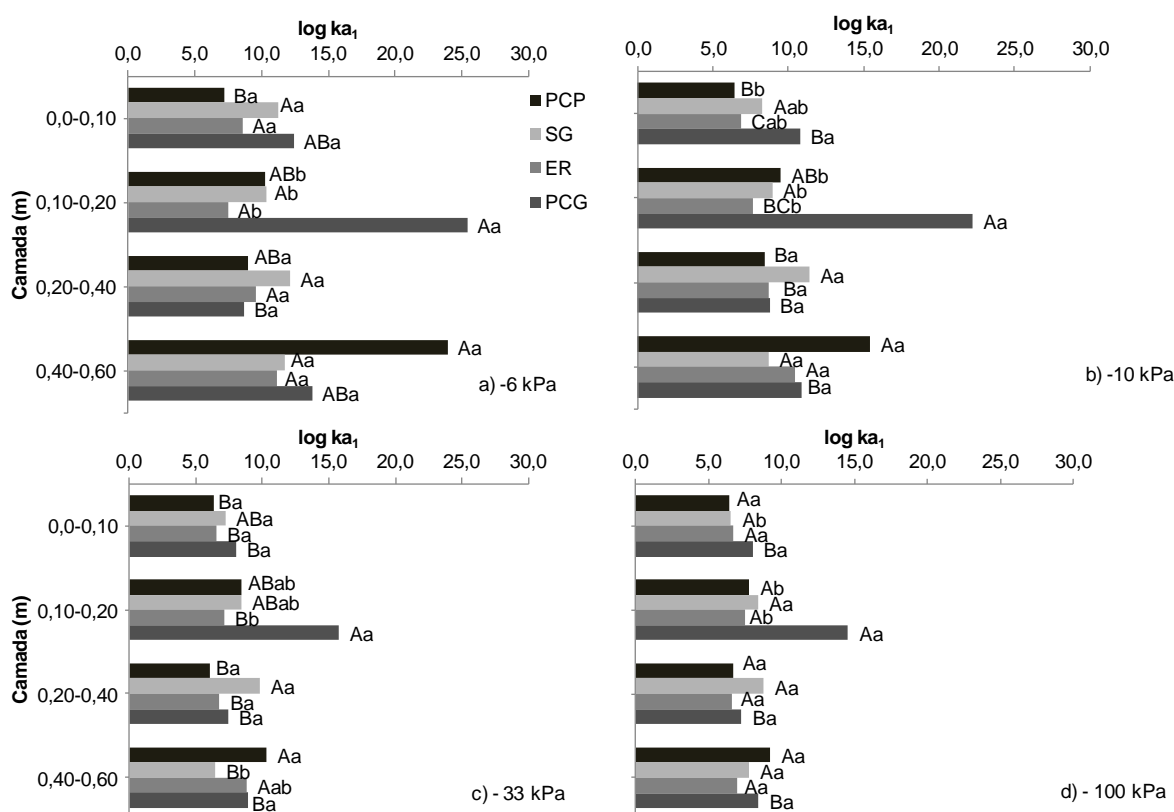


Figura 9 - Valores médios do log do índice de continuidade de poros, K_1 , derivado da razão entre permeabilidade ao ar e porosidade de aeração (Ka/ϵ_a). Médias seguidas de letras iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Duncan com intervalo de confiança a 90 %. Letras maiúsculas referem-se às camadas e minúsculas aos preparos do solo. Plantio com cova pequena de 0,20 x 0,60 m (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 0,40 x 0,60 m (PCG).

A permeabilidade ao ar é um parâmetro com variação espacial no solo, e dependente principalmente da quantidade e continuidade dos macroporos. Assim, a porosidade de aeração é um fator fundamental para manter o fluxo de ar entre as diferentes camadas do solo e garantir a respiração das raízes e dos microrganismos

do solo. Para o adequado desenvolvimento das plantas, o espaço aéreo deve ser de no mínimo $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, valores encontrados para os preparos SG e ER. (DREWRY et al., 2008).

6.3 Curvas de retenção e disponibilidade de água no solo

As características gerais da curva de retenção de água nas diferentes camadas, para o solo estudado, podem ser visto na Figura 10, na qual o teor de água do volume, θ , é traçada em função do potencial matricial.

A retenção de água na camada superficial do solo (0,00 a 0,10 m), em potenciais próximos a zero, próximo da saturação foi maior no preparo ER e SG, devido à maior porosidade total em relação aos preparos PCP e PCG (Tabela 5). No entanto em condições próximas do ponto de murcha a quantidade retida foi maior.

A partir do potencial de -100 kPa ocorreu um aumento na retenção de água no preparo PCG em relação aos outros preparos do solo. Isso indica que ocorreu uma alteração na distribuição dos poros. Em solos com maior conteúdo de areia (Tabela 1), grande parte dos poros são relativamente maiores, e uma vez que esses poros são drenados em determinada tensão, apenas uma menor quantidade de água permanece.

Os comportamentos das curvas de retenção de água, nos diferentes preparos do solo, variaram com a profundidade. Na camada superficial (0,10-0,20 m) no potencial à -10 kPa , o SG foi o preparo que apresentou a maior retenção de água diferindo do PCP. Nessa camada observa-se que houve a maior variação de conteúdo de água entre os preparos até a potencial -10 kPa .

Na camada de 0,20 a 0,40 m, em condições saturadas, a retenção de água foi semelhante nos quatro preparos do solo. No entanto, a partir do potencial de -1 kPa a retenção foi maior no preparo SG e PCG. A partir do potencial de -10 kPa , o formato das curvas de retenção foi semelhante para todos os preparos junto com a porosidade total dessa camada.

Na camada de 0,40 a 0,60 m, em condições saturadas, a retenção de água foi menor e semelhante nos preparos PCP e PCG, mas foi maior próximo ao ponto de

murcha permanente. Contudo, a retenção de água no PCP e PCG, em condições de baixa tensão deve-se à maior porosidade total em relação aos demais preparos.

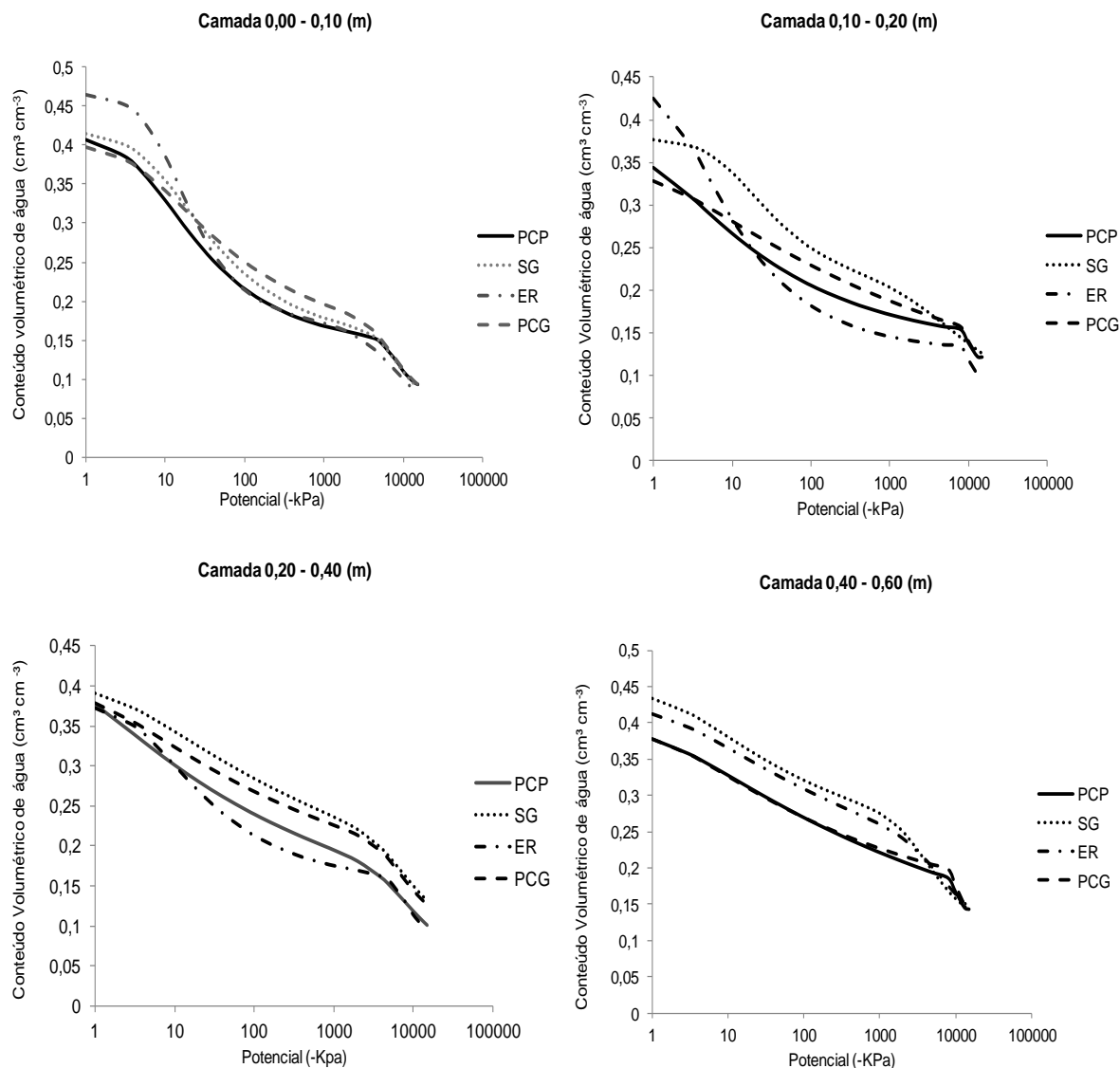


Figura 10 - Curva de retenção de água, nos diferentes preparos de solo e camadas. Plantio com cova pequena de 0,20 x 0,60 m (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 0,40 x 0,60 m (PCG).

No sistema de preparo (PCP e PCG) (Tabela 5) os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} aumentaram com o aumento do valor de densidade do solo. Isto pode ser atribuído a redistribuição do tamanho de poros que, em virtude do aumento da densidade, proporciona uma redução da macroporosidade e aumento da microporosidade. Esta alteração na porosidade do solo exerce grande influência na retenção de água no

solo para condições de potenciais mais elevados, que geralmente são altamente dependentes da estrutura do solo.

O conteúdo de água na capacidade de campo obtido na curva de retenção de água, foi significativamente menor na camada superficial (0 a 0,10 m) do preparo reduzido (PCP) (Tabela 5), indicando menor quantidade de microporos nessa camada (Tabela 4). Nas demais camadas, o solo proporcionou variações significativas no conteúdo de água na capacidade de campo, em relação ao plantio PCP.

Tabela 5 – Capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível em diferentes tipos de preparo do solo em um Argissolo Vermelho, Santa Maria, RS.

Camada (m)	Preparos do solo									
	PCP		SG		ER		PCG		Média	
Capacidade de campo ($m^3 m^{-3}$)										
0,00-0,10	0,214	Bab	0,234	Bab	0,215	Bb	0,249	ABa	0,228	B
0,10-0,20	0,207	Bb	0,248	Ba	0,216	Bab	0,229	Bab	0,225	B
0,20-0,40	0,240	ABab	0,262	ABa	0,213	Bb	0,252	ABab	0,242	AB
0,40-0,60	0,271	Ab	0,321	Aa	0,288	Aab	0,270	Ab	0,287	A
Média	0,233	ab	0,266	a	0,233	Ab	0,250	ab		
Ponto de murcha permanente ($m^3 m^{-3}$)										
0,00-0,10	0,093	Ca	0,090	Ca	0,083	Bb	0,092	Cb	0,089	C
0,10-0,20	0,122	Bab	0,126	Ba	0,100	ABb	0,121	Bab	0,117	B
0,20-0,40	0,101	Ca	0,118	Ca	0,097	Ba	0,119	Ba	0,109	B
0,40-0,60	0,144	Aab	0,142	Aab	0,133	Ab	0,149	Aa	0,142	A
Média	0,115	a	0,119	a	0,103	a	0,120	a		
Água disponível ($m^3 m^{-3}$)										
0,00-0,10	0,121	Ba	0,144	ABa	0,133	Aa	0,157	Aa	0,139	A
0,10-0,20	0,085	Bb	0,123	Ba	0,116	Aa	0,107	Ba	0,108	B
0,20-0,40	0,139	Aa	0,145	ABa	0,116	Aa	0,133	ABa	0,133	A
0,40-0,60	0,127	ABa	0,179	Aa	0,154	Aa	0,121	ABa	0,145	A
Média	0,118	a	0,148	a	0,130	a	0,130	a		

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O conteúdo de água no ponto de murcha permanente variou de 0,09 a 0,14 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ entre as camadas e tratamentos, sendo significativa a diferença entre preparos e camadas, pois nesses potenciais o efeito da textura e da composição mineralógica do solo possui maior efeito na retenção de água do que as condições estruturais do solo. A camada 0,40-0,60 m apresentou significativamente o maior valor de umidade em todos os preparos.

A quantidade de água disponível para as plantas, considerando a umidade entre a CC e no PMP, foi significativamente menor na camada 0,10-0,20 m do SG e PCG. O PCP teve menor quantidade de água disponível nesta camada. No preparo ER não houve diferença significativa entre as camadas. Nas demais camadas, a água disponível não foi alterada pelos preparos aplicados.

6.4 Condutividade hidráulica do solo saturado

Neste estudo as camadas superficiais do solo tiveram maior condutividade hidráulica saturada, o que indica a presença de macroporos. Nos preparos SG e ER observa-se maior condutividade hidráulica e as diferenças foram significativas (Tabela 6). Houve grande diferença entre os valores de K_{sat} , no entanto, a diferença foi significativa apenas entre as camadas do preparo PCG. A redução do k_{sat} na camada 0,0-0,10 m nos preparos PCP e PCG é em consequência da perda de água por escoamento superficial, gerando maiores perdas na distribuição de água no perfil do solo (HAMZA; ANDERSON, 2005; DREWRY et al., 2008). Mesmo com a presença de maior densidade e menor macroporosidade na camada 0,10-0,20 m houve condução de água em condições saturadas do solo. O que explica isso são a presença de bioporos e raízes, por criar poros contínuos no solo (RASSE et al., 2000; ABREU et al., 2004). Embora, tenham discrepâncias nos valores da condutividade hidráulica não ficou bem claro de qual camada ou preparo do solo o sistema radicular da noqueira possa absorver mais água, pois a maior quantidade de raízes neste trabalho encontrou-se por observação, abaixo dos 0,60 m (Figura 15). Contudo, não se pode inferir que a densidade do solo e a porosidade tenham influência na dinâmica da água nas camadas até os 0,60 m.

Tabela 6 - Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}) cultivado com noqueira-pecã (*Carya illinoensis*) nos sistemas de preparo e camadas estudadas.

Camada (m)	Preparos do solo								Média	
	PCP		SG		ER		PCG			
0,00-0,10	174,2	Aab	76,9	Ab	421,9	Aa	145,2	ABb	204,5	AB
0,10-0,20	205,8	Aa	419,4	Aa	232,2	Aa	342,7	Aa	300,0	A
0,20-0,40	156,5	Aab	214,7	Aa	202,1	Aa	27,0	Bb	150,0	B
0,40-0,60	92,4	Aab	56,4	Ab	284,3	Aa	134,4	ABb	141,9	B
Média	157,2	b	191,8	a	285,1	a	162,3	A		

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

6.5 Agregados estáveis em água e distribuição do tamanho.

A estabilidade dos agregados desempenha um papel importante na função do solo, essencial para evitar a erosão e degradação, e na capacidade para transferir líquidos e gases, que são características importantes para o crescimento do sistema radicular e vegetal (TISDALL; OADES, 1982; BRONICK; LAL, 2005). É também, uma propriedade afetada pelo uso e manejo do solo (KAHLON et al., 2013).

A análise de variância realizada para comparar os preparos do solo no plantio em cada época demonstrou que houve diferença significativa entre os preparos na distribuição dos agregados estáveis em água aos 12 e 24 meses após a implantação da noqueira-pecã (Tabela 7).

O solo sob PCP apresentou o maior índice de agregação medido através do diâmetro médio geométrico (DMG), aos 12 meses quando comparado com os demais preparos, essa diferença foi estatisticamente significativa na camada 0,0-0,10 m. Campos et al. (1995) e Prevedello (2008) relataram a mesma tendência, com maior DMG no sistema de plantio direto de *Eucalyptos saligna* Smith, sugerindo que esse resultado decorra devido à menor ação de implementos e a permanência de cobertura vegetal protegendo o solo da ação desagregadora da chuva. Na camada 0,10-0,20 m e épocas diferentes, não podem verificar a influência do manejo na estabilidade de agregados, no entanto percebe-se que nos preparos SG

e ER houve degradação da estrutura. Percebeu-se uma pequena recuperação da mesma aos 24 meses em todas as camadas no preparo SG. A maior degradação e maior recuperação da agregação do solo ocorreu no tratamento ER, fato este que pode estar associado à maior incorporação dos resíduos vegetais no momento da aplicação do manejo.

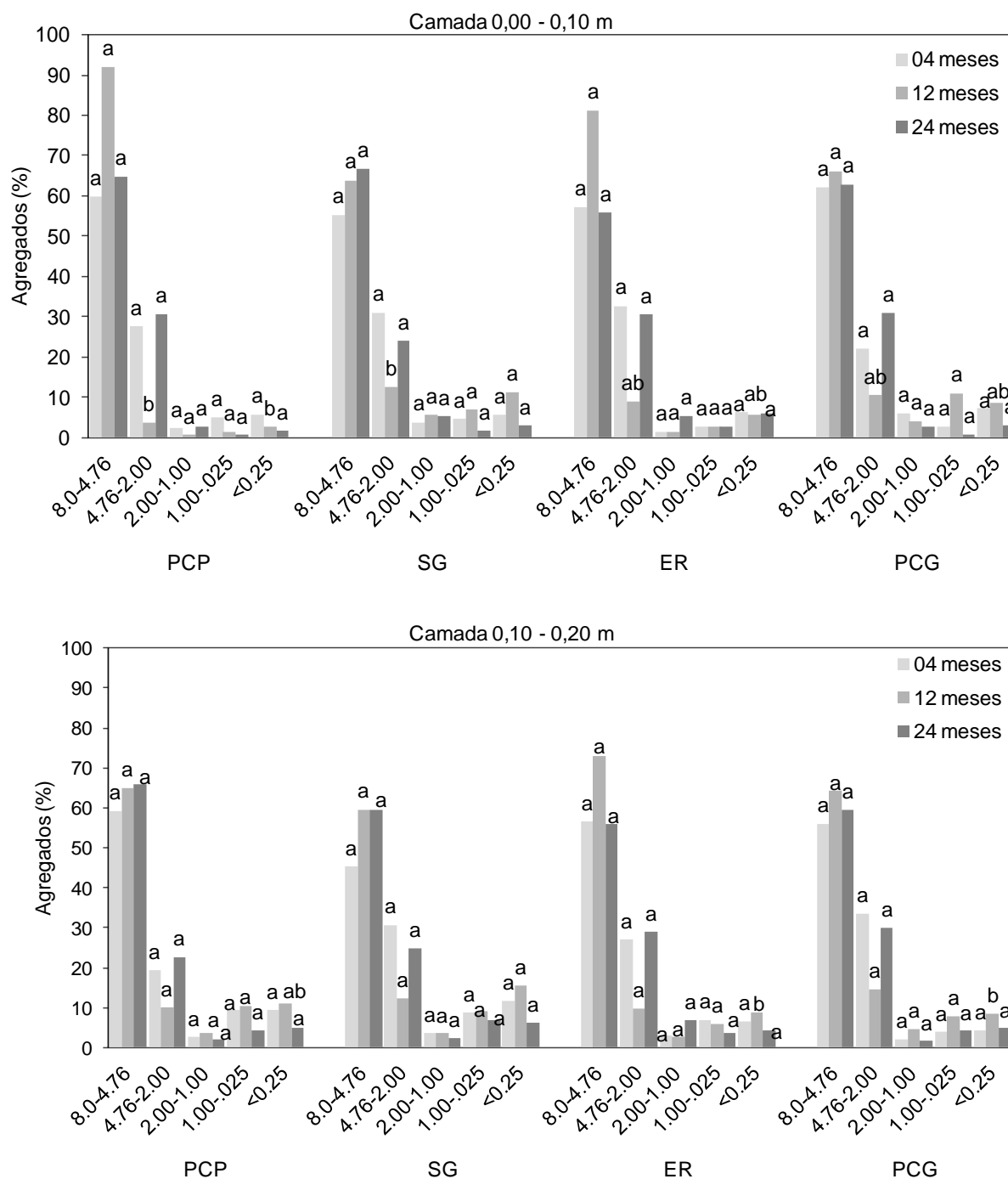
Tabela 7 - Diâmetro médio geométrico úmido do solo cultivado com noqueira-pecã (DMGu mm) nos diferentes preparos determinados aos quatro, 12 e 24 meses.

Camada 0 - 0,10 m				
Épocas	PCP	SG	ER	PCG
4 meses	3,816 aB	3,664 aAB	3,816 Aa	3,798 aAB
12 meses	5,424 aA	3,044 bB	4,406 abA	3,616 abB
24 meses	4,698 aAB	4,36 aA	3,702 aA	4,498 aA
Camada 0,10 - 0,20 m				
Épocas	PCP	SG	ER	PCG
4 meses	3,174 aA	2,722 aA	3,356 aA	3,856 aA
12 meses	2,938 aA	2,508 aA	3,608 aA	3,27 aA
24 meses	3,942 aA	3,532 aA	3,726 aA	3,914 aA
Camada 0,20 - 0,40 m				
Épocas	PCP	SG	ER	PCG
4 meses	2,302 aAB	3,438 aA	2,692 aA	2,658 aA
12 meses	1,62 aB	1,73 aB	1,248 aB	1,696 aA
24 meses	3,07 aA	2,45 aAB	2,866 aA	2,298 aA

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%. Plantio com cova pequena de 20 x 60 cm (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 40 x 60 cm (PCG).

A distribuição do tamanho de agregados estáveis em água não apresentou diferença estatística significativa entre os preparos, porém avaliando os meses (4,12 e 24) percebe-se variação ao longo do tempo (Figura 11 e 12). Durante os períodos

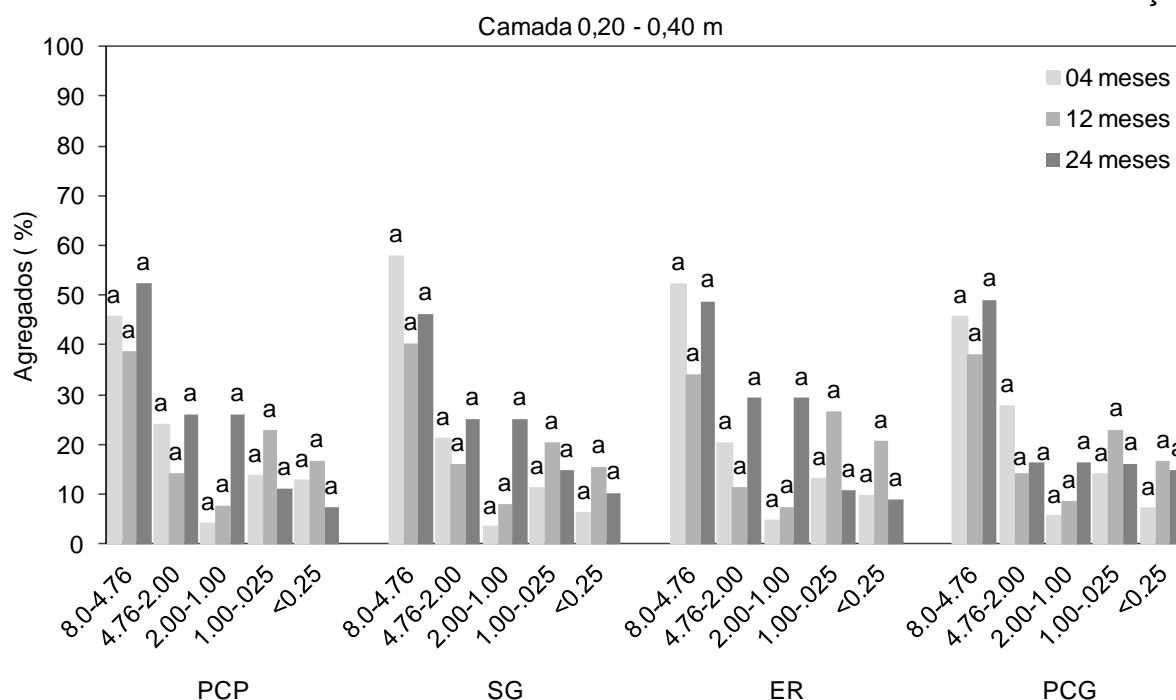
avaliados a classe de diâmetro 8,00-4,76 mm foi a que apresentou maior concentração, variando de 45 a 90 %.



Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%. Plantio com cova pequena de 20 x 60 cm (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 40 x 60 cm (PCG).

Figura 11 - Distribuição de tamanho dos agregados estáveis em água aos 04 meses, 12 e 24 meses do plantio de *Carya illinoensis* (Wang) Koch em diferentes preparos de solo nas camadas 0,0-10 e 0,10-0,29 m, FEPAGRO Floresta, Santa Maria, RS.

Continuação



Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. Plantio com cova pequena de 20 x 60 cm (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 40 x 60 cm (PCG).

Figura 12 - Distribuição de tamanho dos agregados estáveis em água aos 04 meses, 12 e 24 meses do plantio de *Carya illinoensis* (Wang) Koch em diferentes preparos de solo, Santa Maria, RS.

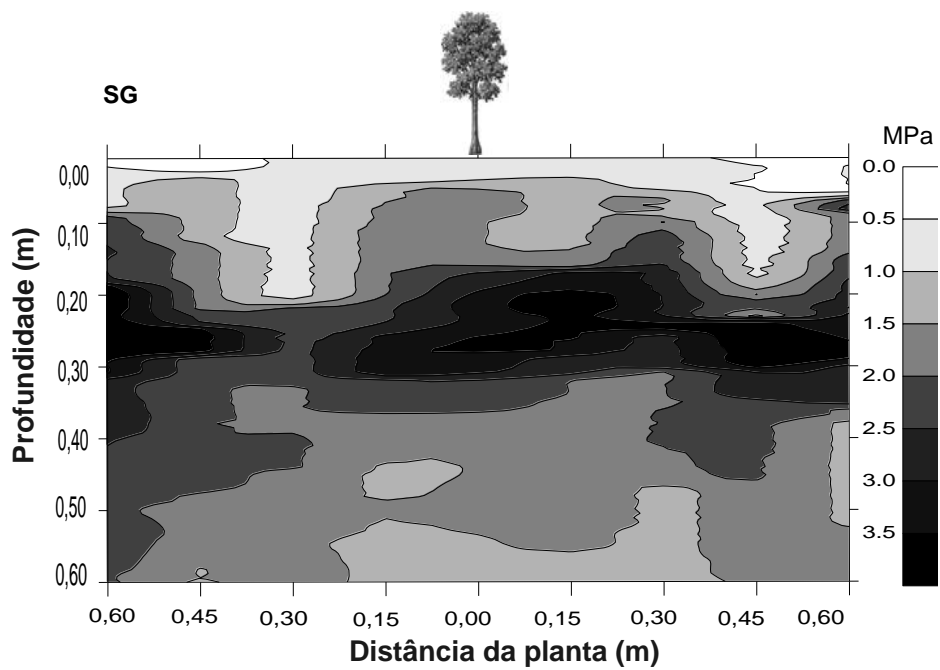
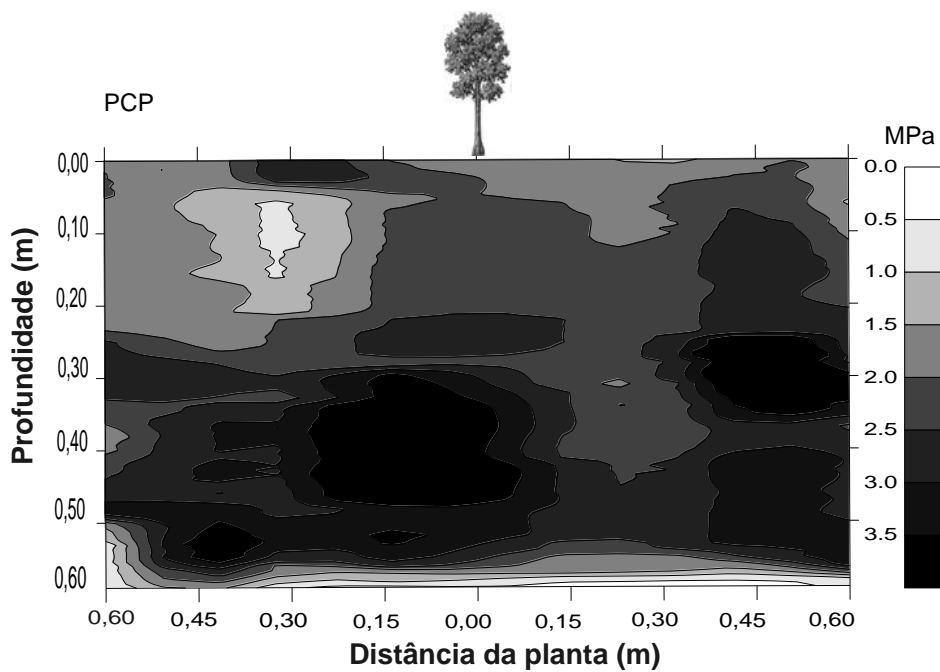
Aos 4 meses após o plantio observamos que essa classe possui cerca de 60 % do total dos agregados, o qual independente do sistema de manejo aplicado provocou aumento da quantidade dos mesmos, 12 meses depois, com conseqüente diminuição nas classes de menor diâmetro (1,00-0,25 e < 0,25 mm). Contudo, aos 12 e 24 meses após o preparo do solo, verificamos uma tendência dos agregados retornarem ao seu estado inicial, com valores de agregados na classe de maior diâmetro variando de 46 a 90 %, fato que pode estar relacionado com o tipo de solo, pois a recuperação da estabilidade estrutural é pelo menos duas vezes mais rápido em solos arenosos do que em argilosos (REICHERT et al.,2003; PREVEDELLO et al., 2014).

6.6 Resistência do solo a penetração

A RP apresentada na Figura 13 para os diferentes preparos do solo após 24 meses da implantação da nogueira-pecã evidencia a ação dos diferentes implementos bem como a profundidade atingida pelo mesmo no momento do preparo do solo. A RP foi máxima na camada 0,20 a 0,40 m em todos os preparos com valores de (PCP) 3,0; (SG) 3,1; (ER) 2,8 e (PCG) 2,4 MPa. Todavia, a diferença entre os preparos ocorreu da superfície até 0,20 m e 0,40 m de profundidade. Esses resultados estão de acordo com Martins et al. (2002) e Prevedello et al (2013), o qual observaram que a resistência foi maior na camada de 0,15 a 0,40 m, atribuindo ao tráfego de máquinas e a não mobilização do solo nessa camada. No entanto, nas condições de umidade no momento da avaliação, os tratamentos superaram os valores de RP limite de 2,0 MPa, considerado por Taylor et al. (1996) como crítico ao desenvolvimento radicular das plantas.

A resistência do solo à penetração é apontada por alguns autores como a principal restrição física ao crescimento de raízes das culturas anuais e perenes. (KAISER et al., 2009; CARVALHO et al. , 2012). Contudo, as diferenças de RP entre os preparos foram insignificantes, não demonstrando valores que indiquem problemas para o desenvolvimento radicular da nogueira-pecã.

O solo no entorno das plantas apresentou valores médios da resistência mecânica do solo acima de 3 MPa e esses altos valores podem estar associados ao uso do solo que antes do plantio da nogueira-pecã era pastagem e também devido a condição do teor de umidade do solo no período em que foi realizada a determinação da resistência mecânica do solo (Figura 14 a e b).



Continuação na página seguinte.

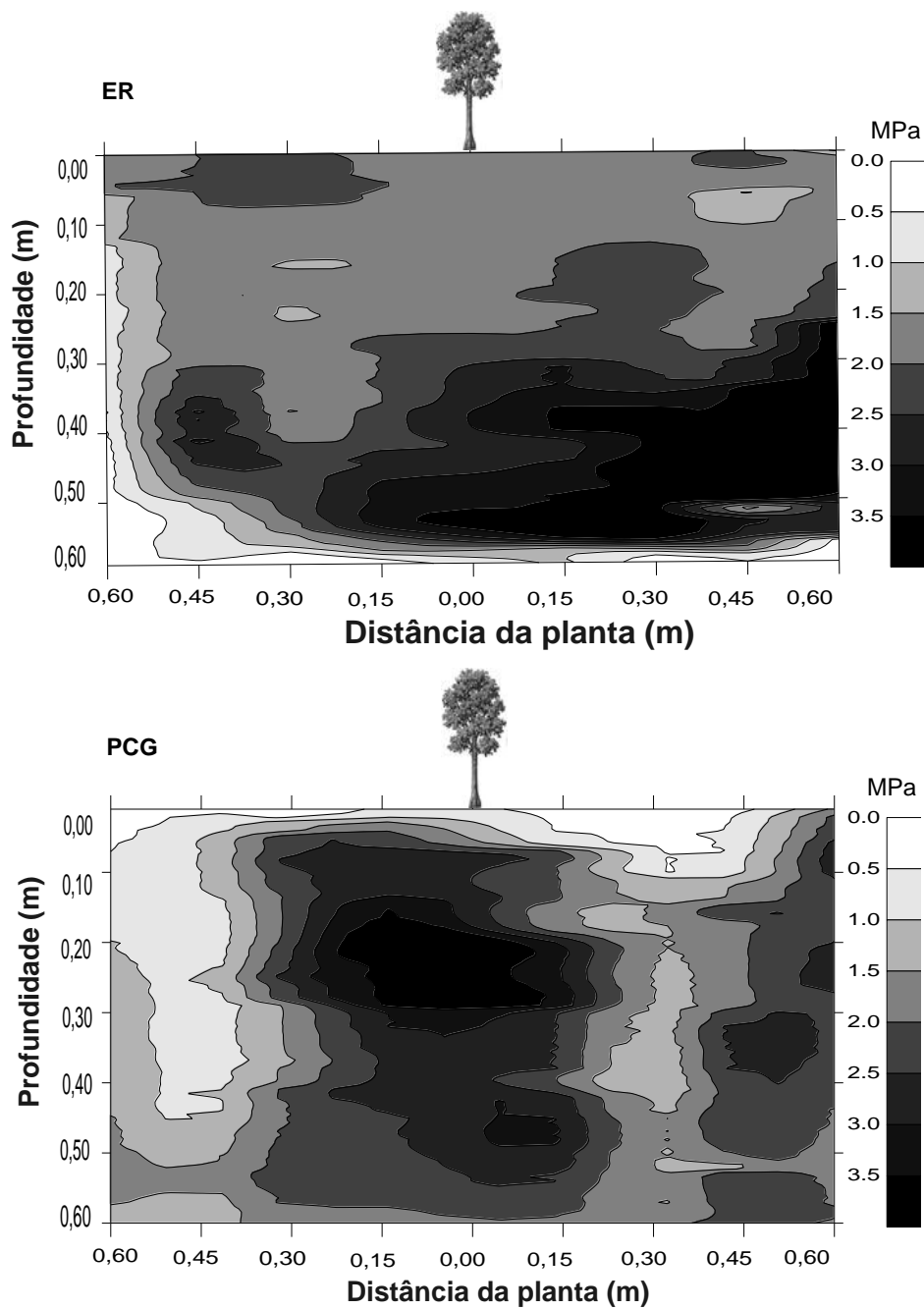


Figura 13 - Resistência do solo à penetração aos 24 meses de idade após o plantio da noqueira-pecã, para o preparo do solo cova pequena (PCP), subsolado grade niveladora (SG), enxada rotativa (ER) e Preparo com cova grande (PCG).

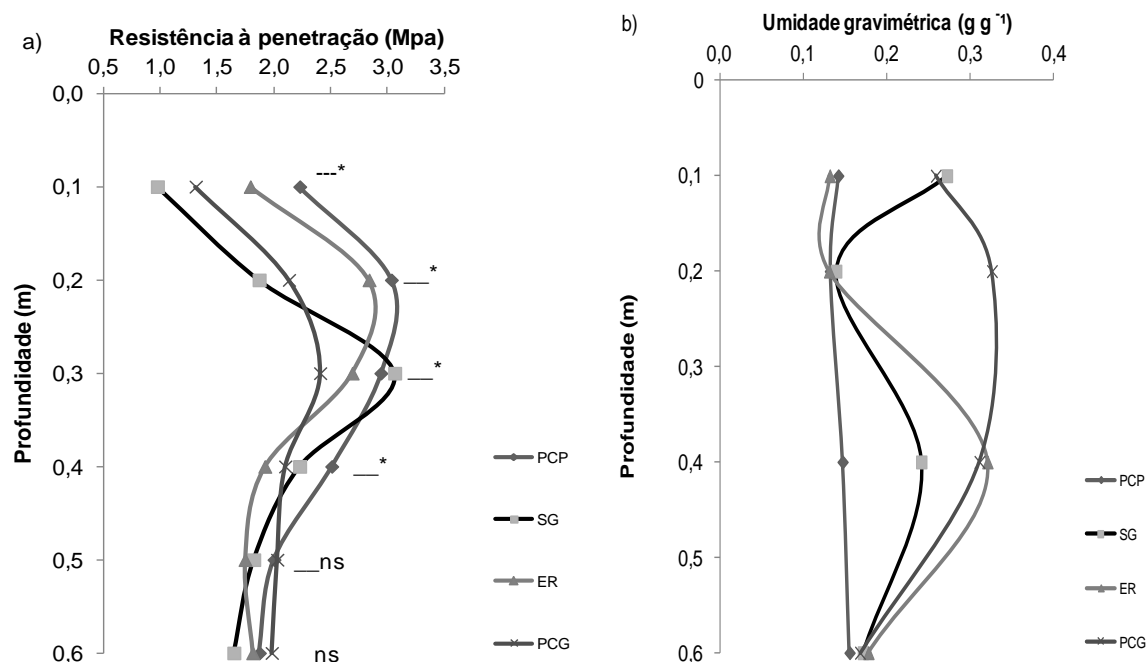


Figura 14 - Médias de RP para os diferentes preparos do solo (a) e umidade do solo.(b) no momento da avaliação. ns = valores não significativos, * significativo a 5 % pelo teste de Tukey.

6.6 Estabelecimento inicial da noqueira-pecã em função do tipo de preparo.

6.6.1 Porcentagem de sobrevivência e crescimento da noqueira-pecã.

Com relação à sobrevivência das plantas, verificou-se que o índice de sobrevivência das plantas em todos os preparos até os oito meses de idade foi de 92 a 88 %. No período entre os oito e 12 meses a maior taxa de mortalidade foi para os preparo SG e ER, com 88 e 87 % de sobrevivência, isso pode estar relacionado ao ataque de formigas e lebres no período inicial do desenvolvimento das plantas (Tabela 8). O preparo PCP e PCG resultou em maior sobrevivência das mudas até os 24 meses e aos 32 meses o PCG teve a menor taxa. Do contrário, Gatto et al. (2003) obtiveram 71,2 % de sobrevivência com *Eucalyptus grandis* para as plantas que receberam cultivo mínimo, contra 88,5 % para o tratamento que recebeu queima, destoca e subsolagem.

Estudando o efeito da intensidade de preparo na sobrevivência e crescimento inicial de povoamentos florestais mistos, Finger et al. (1996) encontraram 97,62 % de sobrevivência em solo subsolado e 92,86 % em solo que não recebeu subsolagem.

Fonseca et al. (2011) observaram que as técnicas de preparo e as condições do solo determinam e influenciam significativamente na mortalidade e crescimento das espécies florestais. Os mesmos autores ressaltam que, a espessura efetiva do solo teve importância especial e que a relação entre o crescimento da planta e profundidade do solo aumentou com o tempo. No entanto, essa diferença para a noqueira-pecã não foi observada no período inicial. Pode-se inferir que foi em função do sistema radicular agressivo da mesma.

Tabela 8 - Taxa de sobrevivência (%) de diferentes épocas para a noqueira-pecã em diferentes preparos do solo, FEPAGRO FLORESTAS, Santa Maria, RS.

Preparo solo	Idade meses						
	1 mar/12	4 jun/12	8 nov/12	12 mar/13	21 dez/13	24 mar/14	32 nov/14
	Sobrevivência (%)						
PCP	100	95	95	95	93	92	78
SG	95	88	88	87	87	87	77
ER	93	88	88	87	87	85	85
PCG	95	93	92	90	90	88	88

Plantio com cova pequena de 0,20 x 0,60 m (PCP); Subsolador mais grade niveladora e cova pequena (SG); Enxada rotativa e cova pequena (ER) Plantio com cova grande de 0,40 x 0,60 m (PCG).

Ao analisar as alturas das árvores nos diferentes preparos, observou-se a interação entre os preparos e as idades. O crescimento em altura das árvores foi influenciado pelo preparo do solo (Tabela 9). As maiores alturas observadas, em todas as idades, foram no tratamento com cova grande (PCG). As plantas no preparo com subsolador mais grade niveladora (SG) também apresentaram diferenças significativas aos 32 meses de idade para o crescimento em altura. Prevedello et al. (2013), avaliaram o preparo do solo sobre o crescimento do *Eucalyptus grandis*, em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico e observaram que o manejo do solo com mobilização o preparo com enxada rotativa

de 0 a 20 cm de profundidade favoreceu o desenvolvimento e crescimento inicial das plantas de eucalipto. Essas características adquiridas pelo solo, após a aplicação do manejo, segundo os autores, também refletiram no índice de sobrevivência das plantas. Para espécies florestais como o *Eucalyptus grandis* Schneider e Schneider (2008), evidenciaram a importância do revolvimento do solo, no início do desenvolvimento das mudas, pois favorece o crescimento longitudinal (altura), durante a juventude e o crescimento diametral durante a fase de maduras da árvore.

Os resultados do crescimento inicial da nogueira-pecã em relação ao diâmetro do colo e altura estão apresentados na Tabela 9. O diâmetro medido a 0,05 m de altura foi escolhido para representar o crescimento em diâmetro das árvores nas diferentes idades de avaliação, pois as mesmas ainda não apresentaram em todas as idades o diâmetro na altura do peito (DAP).

Tabela 9 - Crescimentos periódicos do diâmetro (mm) do colo a 0,05 m e altura total da nogueira-pecã para cada sistema do manejo de solo, FEPAGRO FLORESTAS, Santa Maria, RS.

Preparo	Idade em meses						
	1	4	8	12	21	24	32
	Diâmetro (mm)						
PCP	7,01 a	7,98 a	8,15 a	11,48 a	15,59 b	21,17 b	23,85 b
SG	7,13 a	7,74 a	8,30 a	12,50 a	15,74 b	22,02 ab	26,26 ab
ER	7,30 a	7,88 a	8,15 a	12,54 a	16,30 ab	21,56 ab	24,73 ab
PCG	7,16 a	8,2 a	8,46 a	14,10 a	18,05 a	24,34 a	27,19a
CV(%)	6,13	6,51	6,36	10,82	9,73	9,52	9,13
	Altura (m)						
PCP	0,56 a	0,58 a	0,60 a	1,0 a	1,49 b	1,64 b	2,12 b
SG	0,59 a	0,60 a	0,69 a	1,1 a	1,58 ab	1,78 ab	2,21 ab
ER	0,64 a	0,67 a	0,69 a	1,1 a	1,58 ab	1,79 ab	2,19 ab
PCG	0,65 a	0,68 a	0,72 a	1,3 a	1,89 a	2,80 a	2,46 a
CV(%)	8,63	10,79	9,73	12,2	13,95	14,13	11,27

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

Verificou-se que para as variáveis de crescimento analisadas até os 12 meses não houve diferenças significativas entre os preparos. Cavichiolo et al. (2003) não encontraram diferença de crescimento na altura e Dap na rebrota de *E. saligna* entre à sulcagem e o não revolvimento do solo. Prevedello et. al.(2013) verificaram que após um ano de preparo com enxada rotativa as mudas de *Eucalyptus grandis* apresentaram maior crescimento em diâmetro e altura, no entanto o menor crescimento foi observado onde houve plantio sem preparo do solo. Verifica-se que a partir dos 21 meses houve diferença significativa entre os preparos do solo para o parâmetro altura e diâmetro. O preparo PCP apresentou menor crescimento em altura e diâmetro que PCG e os preparos SG e ER não mostraram diferenças significativas entre eles. Isto possivelmente esteja relacionado ao tamanho da cova do PCP ser menor.

6.7 Estado nutricional foliar da noqueira-pecã

O resultado dos teores de nutrientes nas folhas pode ser observado nas Tabelas 10 e 11. A análise de variância mostrou diferença significativa entre os preparos para os micronutrientes manganês (Mn) e zinco (Zn). Estudos sobre o efeito do micronutriente zinco (Zn) realizados por Kim et al.(2000) e Wood (2007) mostraram que a deficiência deste micro elemento se manifesta em solos alcalinos. Provoca necroses e reduz a área foliar, assim reduzindo a fotossíntese e conseqüentemente quedas na produção. Foi observado somente a deficiência de Zn nas folhas do preparo PC. Os macro e microelementos nas folhas das plantas dos preparos SG, ER e PCG não apresentaram deficiências (Tabela 11). Para prevenir ou corrigir a deficiência de qualquer nutriente é adequado fazer adubação via solo ou foliar (BARRIOS et al., 2007; BISSANI et al., 2008).

Tabela 10 - Teores médios de macronutrientes g kg⁻¹ (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes mg kg⁻¹ (B, Cu, Fe, Mn, Zn) nas folhas das árvores de *Carya illinoensis* (Wanghen.) K. Koch aos 2 anos de idade submetidas aos preparos de solo na FEPAGRO FLORESTAS, Santa Maria, RS.

Elementos	Preparo do solo						Média	CV (%)
	PCP	SG	ER	PCG				
N	24,26 a	22,82 a	23,41 a	24,91 a	23,85	6,63		
P	1,45 a	1,56 a	1,65 a	1,54 a	1,55	10,95		
K	8,56 a	11,03 a	8,95 a	8,97 a	9,38	22,96		
Ca	11,27 a	12,82 a	11,29 a	12,03 a	11,85	10,03		
Mg	4,40 a	3,77 a	3,55 a	2,99 a	3,68	24,24		
S	0,69 ab	0,63 b	1,01 ab	1,08 a	0,85	24,25		
B	28,89 a	26,69 a	25,06 a	26,11 a	26,69	20,76		
Cu	8,02 a	8,73 a	9,20 a	8,55 a	8,62	26,89		
Fe	92,86 a	91,97 a	83,02 a	84,65 a	88,13	13,,93		
Mn	597,96 b	816,61 ab	744,73 ab	999,90 a	789,80	20,57		
Zn	17,35 b	27,83 ab	33,15 ab	42,76 a	30,28	31,12		

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro. Coeficiente de variação (CV%). (PCP) Preparo cova pequena, (SG) Subsolador mais grade niveladora, (ER) Enxada rotativa, (PCG) Preparo cova grande. Método: N: Kjeldahl; P e B: espectrometria visível; S: turbidimetria; K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn: espectrofotometria de absorção atômica. Teores totais expressos no material seco a 70°C.

Tabela 11 - Concentração considerada adequada de valores de nutrientes em folhas de noqueira pecã.

Nutrientes	Faixa	Nutriente	Faixa
	-- %--		--mg Kg ⁻¹ --
N	2,5 – 2,9	B	20 – 45
P	0,13 – 0,30	Cu	05 – 15
K	0,75 – 0,95	Fe	50 – 100
Ca	0,70 – 1,50	Mn	150 – 500
Mg	0,30 – 0,60	Zn	50 – 100

Fonte: Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 2004.

6.8 Biomassa de raízes finas e grandes

O sistema radicular das raízes da planta de *Carya illinoensis* cresceu em comprimento e diâmetro além da cova onde foram plantadas (Apêndice 1). Isso confirma a alta capacidade de exploração dessas raízes em camadas superficiais do solo, em busca de água e nutrientes.

Witschoreck et al. (2003), avaliaram a biomassa de raízes de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, com 10 anos de idade e verificaram que em média 64,3 % do comprimento total da biomassa radicular estava nos primeiros 20 cm de profundidade.

Pode-se verificar (Tabela 12), que a distribuição do comprimento de raízes finas (≤ 2 mm) aos 24 meses de idade para a noqueira-pecã mostram que na camada 0 - 0,10 m houve diferença estatística entre os preparos do solo e o SG teve o maior comprimento de raízes na distância 0,45 m do tronco e entre camadas. A razão para essa observação está no efeito da mobilização do preparo do solo que na qual também apresentou maior macroporosidade e água disponível (Tabelas 4 e 5). Na camada 0,10 a 0,20 m o preparo PCG teve a maior quantidade de raízes e diferiu do preparo PCP na distancia 0,15 e 0,30 m do caule. Da mesma forma, Ceconi et al (2008) estudando o sistema radicular de *Acacia mearnsii* De Wild. com quatro anos de idade, verificaram que o comprimento de raízes finas diminui com o aumento da profundidade, sendo que nos primeiros 20 cm encontram-se 86,59 % do comprimento total de raízes finas. Pode-se salientar que, nessa idade das plantas da noqueira-pecã não houve escassez de água, nutrientes, luminosidade, e concorrência de outras espécies. Ceccon et al., (2010) e Smith; Cheary, (2014) verificaram que a competição com outras plantas tem influência negativa no crescimento e na densidade radicular das plantas de macieira e noqueira-pecã pois, encontraram diferenças significativas.

Navroski e Schumacher (2007), analisando o comprimento de raízes finas em uma Floresta Estacional Decidual verificaram para a camada de 0-15 cm de profundidade, mais de 40.000 km ha⁻¹ de raízes finas. Ji et al (2012) observaram em um povoamento de *Robinia pseudoacacia* e *Platyclusus orientalis* com idade de 17 anos, nos altiplanos da China, uma maior porcentagem de raízes finas na camada de 10 a 20 cm.

Tabela 12 - Comprimento ($m\ m^{-3}$) de raízes finas ($\leq 2\ mm$), em diferentes camadas do solo, preparos e distâncias a partir do caule da *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade.

Preparos do solo									
Camada	PCP		SG		ER		PCG		Média
(m)	Distância 0,15 (m)								
0,00-0,10	1.198,25	Aa	469,61	Ab	1.229,08	Aa	508,98	Bb	851,48 C
0,10-0,20	136,49	Bc	659,92	Aa	264,92	Ba	4.575,48	Aa	1.409,20 A
0,20-0,30	285,23	Ba	302,80	Aa	233,99	Ba	282,27	Ca	276,07 B
Média	539,99	b	477,44	b	576,00	b	1788,91	a	
Camada	PCP		SG		ER		PCG		Média
(m)	Distância 0,30 (m)								
0,00-0,10	781,18	Ab	1.706,39	Aab	1.883,81	Aa	961,09	Ab	1.333,12 A
0,10-0,20	266,30	Bb	872,23	Ba	344,29	Bb	1017,83	Aa	625,16 B
0,20-0,30	248,15	Bb	324,31	Cb	303,34	Bb	873,21	Aa	437,25 B
Média	431,87	b	967,64	a	843,81	a	950,71	a	
Camada	PCP		SG		ER		PCG		Média
(m)	Distância 0,45 (m)								
0,00-0,10	474,15	Ac	2.556,85	Aa	1.000,33	Ab	679,06	Abc	1.177,60 A
0,10-0,20	265,39	Bc	990,43	Ba	461,94	Bb	319,03	Bbc	509,20 B
0,20-0,30	296,84	Bc	828,30	Ba	451,07	Bb	570,49	Ab	536,67 B
Média	345,46	c	1.458,53	a	637,78	bc	522,86	bc	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Foram encontrados nos preparos PCP, SG e ER a maior quantidade de raízes finas ($\leq 2\ mm$) na camada 0,0 a 0,10 m, sendo que a maior parte das raízes estavam concentradas nos primeiros 0,20 m em todas as distancias coletadas a partir do caule (Tabela 13). Houve um decréscimo de raízes finas na camada 0,20 a 0,30 m sem diferença significativa para todos os preparos. Isso pode estar sendo motivado pela menor aeração e disponibilidade de nutrientes nas camadas de solo mais profundas e fora da cova de implantação. Embora as condições de fertilidade do solo na cova de plantio da muda estejam dentro dos parâmetros (Tabela 3) as

raízes da noqueira-pecã exploraram outros espaços menos férteis e com resistência mecânica maior.

Os valores da densidade de raízes difere na camada 0,20-0,30 m de solo aos 0,30 m distante do caule. Ressalta-se que não há presença de camada de serapilheira na área. Segundo Larcher (2000) e Gonçalves; Mello (2000) a distribuição e a densidade das raízes dependem em primeiro lugar do tipo do sistema radicial e variam no decorrer do ano, cabe salientar que a propagação ocorre na primavera ou época de chuvas e a morte e diminuição, no final do período de crescimento.

Tabela 13 – Densidade de raízes finas $g\ dm^{-3}$ ($\leq 2\ mm$), em diferentes camadas, preparos do solo, e distâncias a partir do caule da *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade na FEPAGRO FLORESTAS, Santa Maria, RS.

Preparos de solo										
Camada										
(m)	PCP		SG		ER		PCG		Média	
Distância 0,15 (m)										
0,00-0,10	0,436	Aa	0,187	Aa	0,490	Aa	0,115	Aa	0,307	A
0,10-0,20	0,069	Ba	0,246	Aa	0,359	Aa	0,700	Aa	0,344	A
0,20-0,30	0,123	ABa	0,218	Aa	0,044	Aa	0,382	Aa	0,192	A
Média	0,209	a	0,217	a	0,297	a	0,399	a		
Distância 0,30 (m)										
0,00-0,10	0,359	Aa	0,487	Aa	0,626	Aa	0,162	Aa	0,408	A
0,10-0,20	0,092	Ba	0,528	Aa	0,377	Aa	0,492	Aa	0,372	B
0,20-0,30	0,162	Bab	0,233	Bab	0,051	Bb	0,423	Aa	0,217	B
Média	0,204	b	0,416	a	0,351	a	0,359	a		
Distância 0,45 (m)										
0,00-0,10	0,228	Aa	0,572	Aa	0,321	Aa	0,228	Aa	0,337	A
0,10-0,20	0,077	Aa	0,262	Ba	0,295	Aa	0,313	Aa	0,237	B
0,20-0,30	0,187	Aa	0,533	Aa	0,126	Aa	0,138	Aa	0,246	B
Média	0,164	c	0,456	a	0,247	bc	0,226	bc		

Médias seguidas por mesma letra em cada preparo minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A análise de correlação mostra que existe baixa relação da densidade de raízes com a Ds, RP, AD, Pt, Mic e Mac (Tabela 14). Segundo Cavichiolo et al., (2003) e Plante et al. (2014) a umidade e a resistência a penetração são fatores controladores no crescimento de raízes do *Eucalyptus saligna*.

A densidade do solo apresentou relação negativa e significativa com a AD, Pt e Mic o que significa que são propriedades relacionadas com o aumento do número de partículas por unidade de volume.

A macroporosidade teve relação positiva e significativa com a densidade do solo, no entanto baixa e negativamente com a RP, AD, Pt e Mic. Os poros menores são responsáveis pela retenção de água em condições não saturadas, enquanto os poros maiores atuam na aeração e condução de água no solo possibilitando o bom desenvolvimento do sistema radicular.

Tabela 14 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a densidade de raízes (Dr) na camada de 0,0 a 0,30m de profundidade do solo, densidade do solo(Ds), resistência a penetração (RP), água disponível (AD) porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic).

Variável	Dr	Ds	RP	AD	Pt	Mic	Mac
Dr	1						
Ds	-0,15 ^{ns}	1					
RP	-0,18 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1				
AD	-0,09 ^{ns}	-0,38 ^{**}	-0,31 [*]	1			
Pt	0,09 ^{ns}	-0,70 ^{**}	-0,58 ^{**}	0,49 ^{**}	1		
Mic	-0,05 ^{ns}	-0,40 ^{**}	-0,16 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,32 [*]	1	
Mac	-0,04 ^{ns}	0,33 [*]	-0,05 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	1

ns não significativo ($p \geq 0,05$), * significativo ($0,01 \leq p < 0,05$), ** significativo ($p < 0,01$).

As medições do comprimento de raízes possuem um alto coeficiente de variação em função da variabilidade das amostras do sistema radicular. O tratamento ER apresentou maior quantidade de biomassa total da parte aérea (folhas e galhos), no entanto o PCG apresentou maior valor no comprimento de raízes, porém não apresentou diferença estatística entre os preparos do solo (Tabela 15). A maior variação do comprimento das raízes (CV) nas repetições

avaliadas deve estar relacionado à variação na densidade do solo e impedimentos mecânicos do solo na camada 0,10-0,20 m (Figura 13 e Tabela 4).

Tabela 15 - Biomassa radicular (> 2 mm) na camada de 0,0 a 1,70 m de profundidade do solo, medidas diamétricas e biomassa seca aérea da *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade.

Parâmetros medidos	Preparos do solo						Média	CV (%)
	PCP	SG	ER	PCG				
Compr. Raízes m/m ³	330,5	238,2	578,2	615,2	440,50	ns	72,6	
Densidade g m ³	99,7	87,8	113,0	90,2	97,7	ns	7,3	
Diâmetro do colo (mm)	18,0	17,1	20,8	29,4	21,3	ns	56,0	
Altura (m)	2,6	2,5	2,9	2,7	2,7	ns	11,1	
Massa Folhas secas (g)	144,5	144,7	186,6	201,9	169,4	ns	34,4	
Massa Ramos e caule (g)	465,0	481,5	652,7	501,7	525,2	ns	39,1	

Médias não significativas (ns) na linha entre si pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade de erro. Coeficiente de variação (CV%). (PCP) preparo cova pequena, (SG) subsolador mais grade niveladora, (ER) enxada rotativa, (PCG) preparo cova grande.

6.9 Arranjo do sistema radicular

A análise do arranjo radicular é uma metodologia qualitativa, com grande utilidade na avaliação e identificação de camadas onde há resistência mecânica, disponibilidade ou toxidez de nutrientes, e que possam ser um impedimento ao crescimento radicular. Em espécies florestais o crescimento radicular é mais intenso na fase inicial e lento na fase adulta da planta. Dessa forma, a avaliação da distribuição das raízes indica se houve restrições ao seu crescimento durante a fase vegetativa da noqueira (Figuras, 15, 16, 17 e 18).

Em cada método de preparo do solo para a implantação da noqueira-pecã, o desenvolvimento radicular foi irregular. As raízes atingiram profundidade superior 1,7 m, e demonstraram volume de solo explorado além do diâmetro da cova em todos os preparos na profundidade entre 0,60 m e 1,2 m, com ou sem revolvimento. Embora o preparo PCP tenha sido com revolvimento mínimo do solo e a RP observada até os 0,60 m foi acima de 2,5 MPa, houve a distribuição radicular das

raízes em ambas as direções e penetraram além do tamanho da cova pequena (Figura 15).

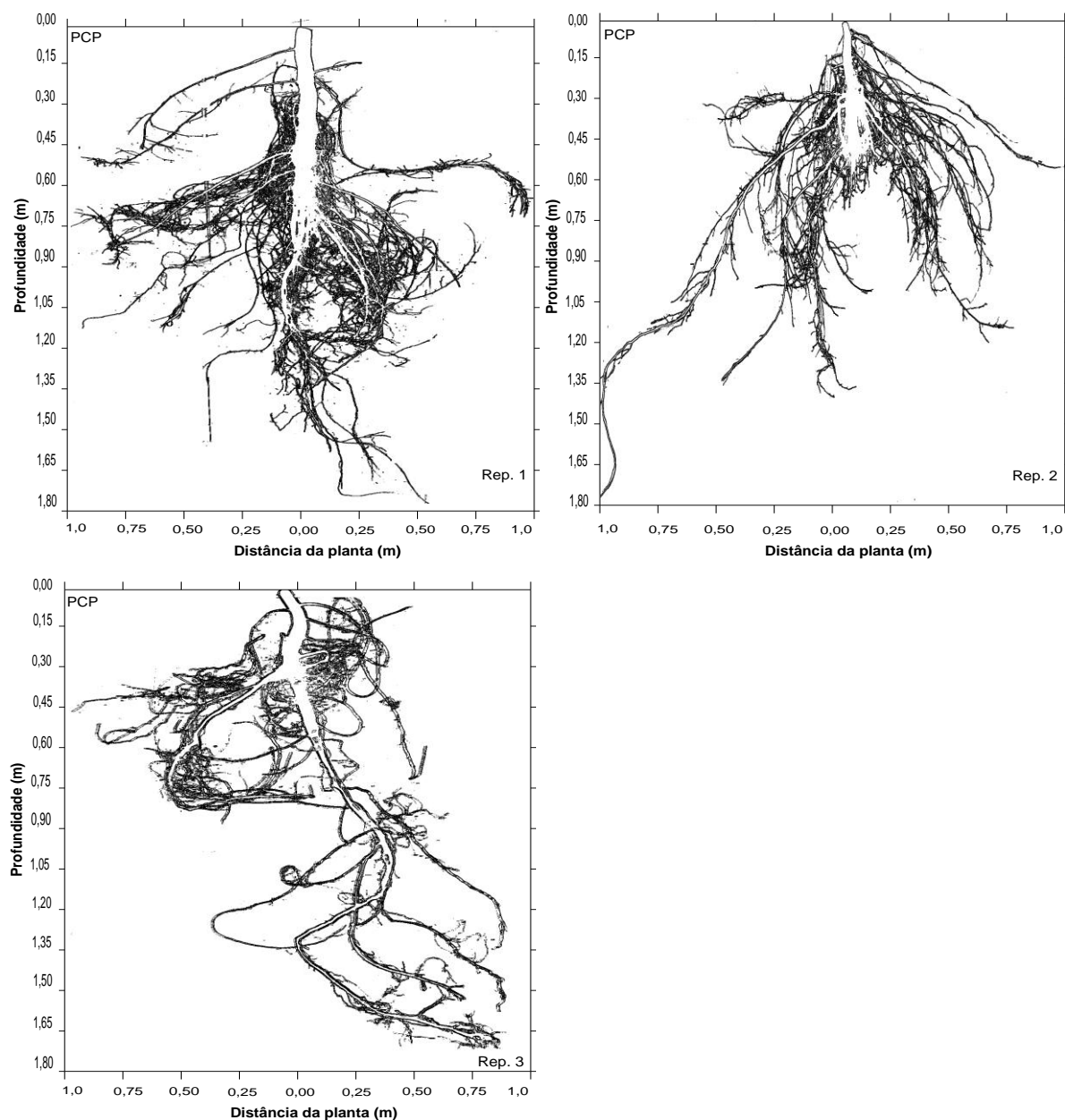


Figura 15 - Arranjo de raízes, em diferentes camadas do solo, preparos e distâncias a partir do caule da *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade. (PCP) preparo cova pequena. Repetição 1, 2 e 3 (Rep.).

No sistema de manejo PCP as plantas apresentaram distribuição radicular pela raiz principal quanto pelas raízes secundárias, com exceção da repetição 2, a qual atingiu menos raízes na profundidade maior que 1,20 m. Stape et al. (2002) avaliando o crescimento inicial de um clone de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*

submetido a diferentes sistemas de preparo do solo e fertilização em dois sítios distintos verificou que o sistema radicular das plantas que receberam preparo do solo em maior profundidade apresentaram maior aprofundamento e densidade radicular do que na área sem preparo, fato não observado com as noqueiras-pecã neste trabalho.

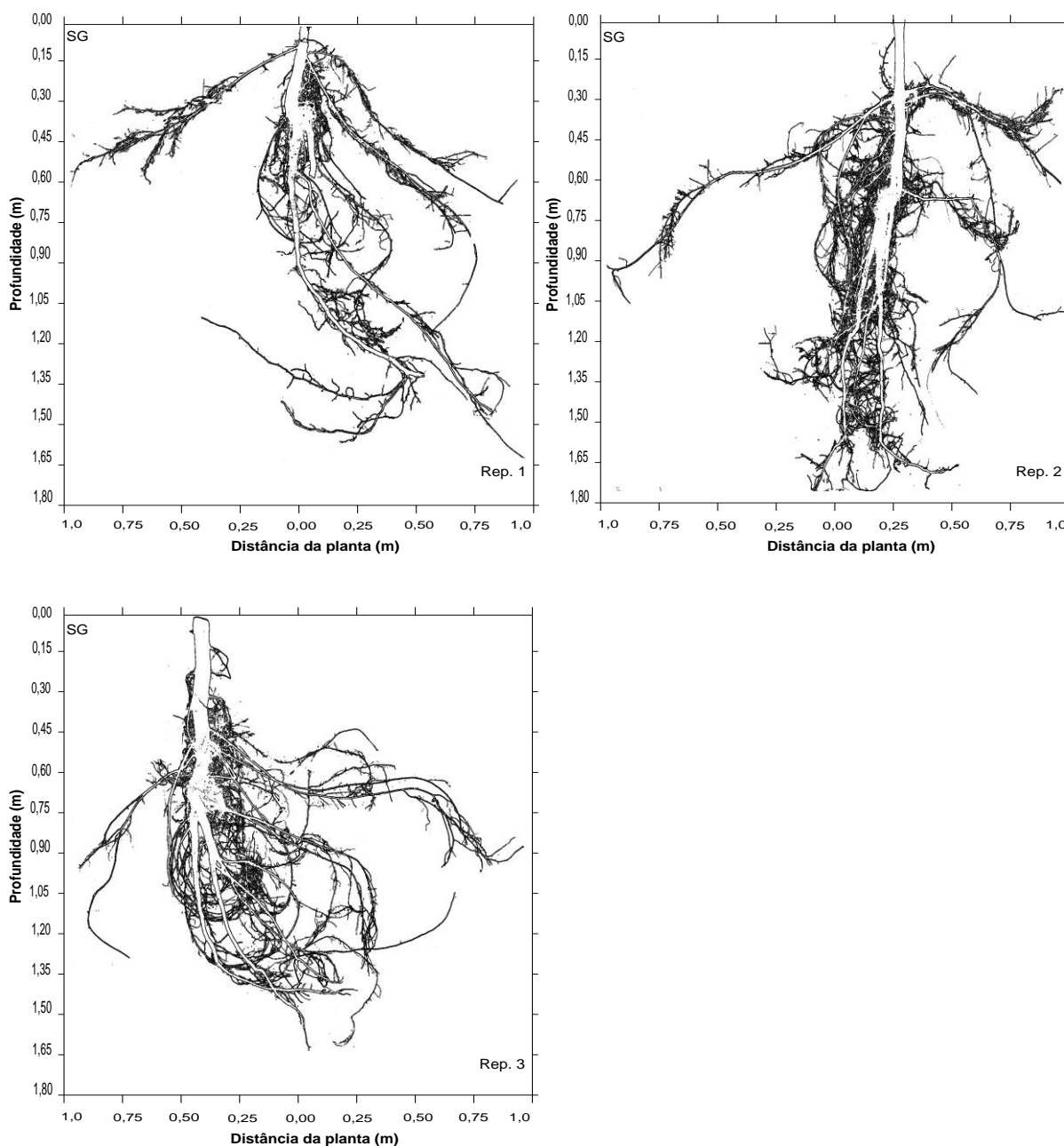


Figura 16 - Arranjo de raízes, em diferentes camadas do solo, preparos e distâncias a partir do caule da *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade. (SG) subsolador mais grade niveladora. Repetição 1, 2 e 3 (Rep.).

Nos preparos SG e ER a distribuição radicular também apresentou aprofundamento das raízes, sem ocorrência de desvio da raiz principal e com visível distribuição das raízes secundárias (Figuras 16 e 17).

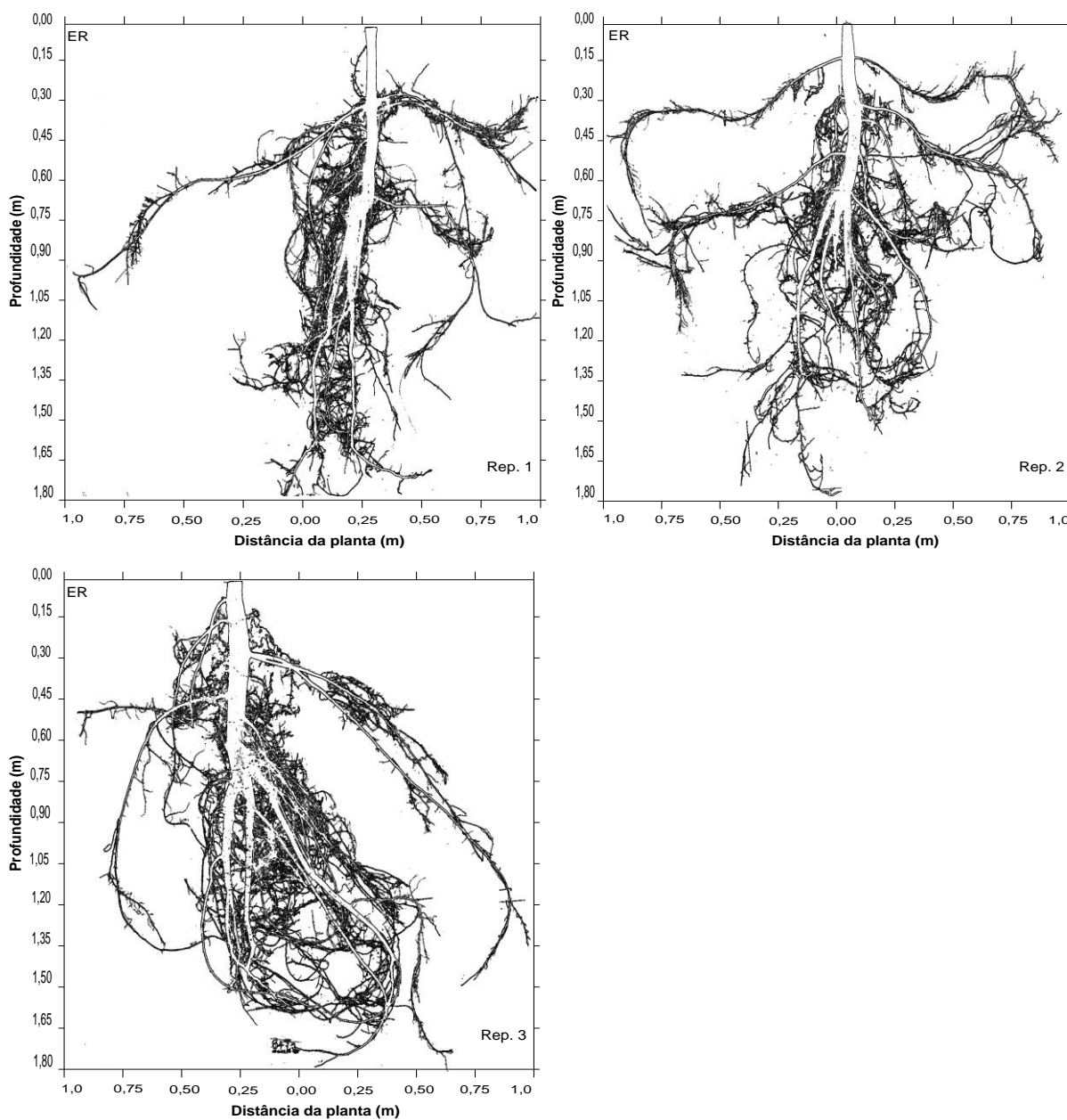


Figura 17 - Arranjo de raízes, em diferentes camadas do solo, preparos e distâncias a partir do caule da *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade. (ER) enxada rotativa. Repetição 1, 2 e 3 (Rep.).

No preparo de solo PCG, observa-se uma exploração das raízes secundárias na camada mais superficial, contudo o crescimento da raiz principal, após os 0,60 m de profundidade (Figura 18). Essa exploração radicular nos primeiros 0,60 metros

pode estar relacionado ao tamanho maior do diâmetro da cova e onde houve menor impedimento físico para crescimento radicular nos primeiros meses.

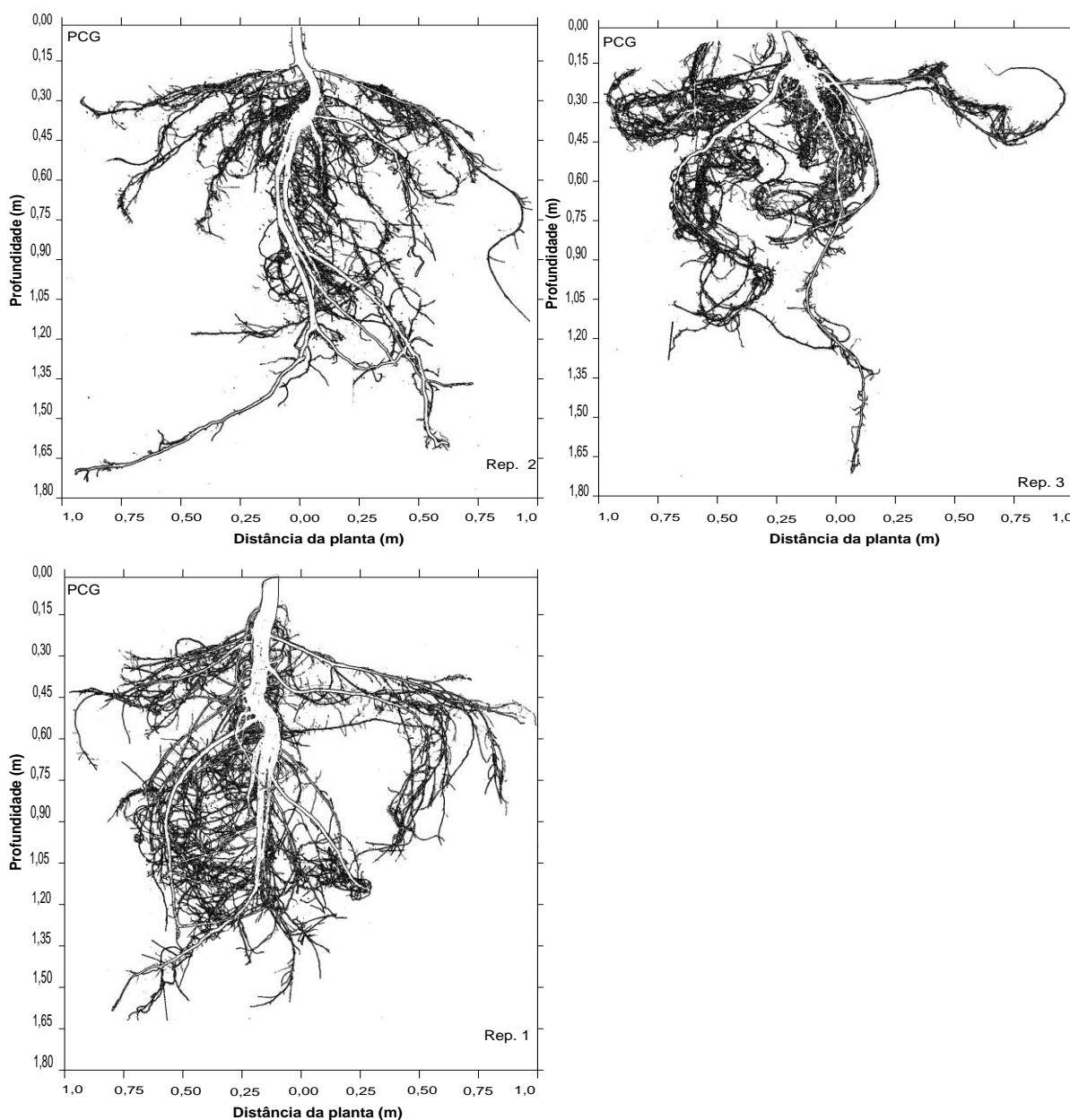


Figura 18 - Arranjo de raízes, em diferentes camadas do solo, preparos e distâncias a partir do caule da *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch com dois anos de idade. (PCG) preparo cova grande. Repetição 1, 2 e 3 (Rep.).

As condições físicas e químicas do solo sob os diferentes preparos não restringiram o crescimento radicular nas camadas avaliadas. Os valores de densidade, resistência a penetração (≥ 2 ou 3 MPa), estavam próximos aos considerados críticos para o crescimento radicular em solo franco arenoso para culturas perenes (REICHERT et al., 2003; SAMPIETRO, 2013).

7. CONCLUSÕES

- O preparo do solo em cova pequena não aumentou a retenção de água e reduziu a capacidade da planta em explorar um maior volume de solo, por dificultar o crescimento do sistema radicular, parte aérea e reduzir a aeração do solo.

- A subsolagem com gradagem favoreceu a retenção e disponibilidade de água no solo na profundidade entre 0,40 e 0,60 m, porém não possibilitou resultados melhores na taxa de sobrevivência, crescimento radicular e da parte aérea da noqueira-pecã.

- O preparo do solo com a enxada rotativa reduziu a capacidade de armazenamento de água na camada superficial do solo e teve a menor taxa de sobrevivência nos primeiros 4 meses após a implantação.

- O preparo do solo em cova grande proporcionou maior crescimento em altura e diâmetro da noqueira-pecã (*Carya illinoensis*) depois dos 21 meses até os 24 meses de avaliação. O arranjo radicular apresentou maior comprimento de raízes finas em relação aos outros preparos.

- O principal benefício dos preparos SG e ER do solo foi a redução da resistência à penetração e a melhoria na aeração do solo, o que permite um melhor crescimento e distribuição do sistema radicular das plantas, aumentando o volume de solo explorado pelas raízes finas (≤ 2 mm).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi observado neste estudo, plantas cultivadas em solo sob o efeito do preparo com revolvimento mostrou maior comprimento de raízes finas nos primeiros 0,10 m de profundidade, isso poderá ter importância no momento da aplicação de nutrientes na superfície do solo. Contudo, essa informação mostra que não será adequado manejar o solo para não danificar o sistema radicular superficial após os 24 meses.

Os experimentos que unem práticas de preparo do solo devem ser monitorados a longo prazo, pois tanto o solo quanto a resposta do crescimento das plantas em função do revolvimento precisam de um tempo maior para demonstrar a influência e eficácia dos preparos do solo.

As práticas de preparo do solo são de fundamental importância para o meio ambiente e promovem melhorias no estabelecimento e no desenvolvimento inicial da noqueira-pecã, além disso, devem ser economicamente viáveis.

O preparo do solo com revolvimento poderá vir a ser benéfico em meses com estiagens, por armazenar mais água em profundidade, mas não fica evidente quando a distribuição das chuvas é equilibrada e suficiente ao longo do ciclo perene da noqueira-pecã. Contudo, o efeito dos preparos do solo com revolvimento irá desaparecer com o passar dos anos.

A análise do arranjo radicular por imagens, apesar de ser um método qualitativo, foi eficiente em demonstrar o efeito do preparo do solo para implantação da noqueira-pecã.

Espera-se que os resultados possam gerar informações para o presente e futuro da cultura da noqueira. Incentivar novos estudos relacionados ao solo, crescimento, a doenças, pragas e irrigação, visando ampliar o conhecimento e a aplicação de mudanças nas práticas e manejos dos pomares da noqueira-pecã.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABRÃO, S. F. **Alterações físicas e químicas de um cambissolo húmico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes rotações**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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

ACUNA-MALDONADO, L.E et al.. Influence of nitrogen application time on nitrogen absorption, partitioning, and yield of pecan. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. v.128: p.155-162, 2003.

ADAMS, J. C. **A study of genetic variability in wild populations of pecan (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch)**. Thesis (Ph.D.), 1976. Louisiana State University, Baton Rouge.

ALDRED, et al. **Texas Pecan Handbook**. TX Agricultural Extension Service, 1997. College Station, TX.

ARITA S.;TAKAKI H.. Gibberellin relationships in zinc deficient plants. **Plant Cell Physiology**. v. 27 n.6. p. 1005-1012. 1986.

BLACKWELL, P. S. et al. The use of air-filled porosity and intrinsic permeability to air to characterize structure of macropore space and saturated hydraulic conductivity of clay soils. **Jornal of Soil Science**, v.41, p. 215-228, 1990.

BALL, B. C. et al. Gas diffusion fluid flow and derived pore continuity indices in relation vehicles traffic and tillage. **Journal of Soil Science**. v. 39, p. 327-339, 1988.

BARDEN, L.; PAVLAKIS, G. Air and water permeability of compacted unsaturated cohesive soil. **European Journal of Soil Science**. v. 22, p. 302-318, 1971.

BARROSO, D. G. et al. Efeitos do recipiente sobre o desempenho pós-plantio de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *E. urophylla* S.T. Blake. **Revista Árvore**, v. 24, n. 3, p. 291-296, 2000.

BARRIOS, D. L. O.; FERNANDEZ, V. F. ; CHAVÉZ, S.; RODRIGUEZ, H. R.. **Manejo de La nutrición y fertilización en el cultivo del Nogal Pecanero**. Capítulo VIII, 26p. In: LAVADO, R. S.; FRUSSO, E. A. Producción de pecán en Argentina. Buenos Aires, 2007.

BIAO, Z. et al. Space-time dynamics of fine root biomass of six forests in the Maershan forest region, northeast China. **Frontiers of Biology in China**, Beijing, v. 2, n. 2, p. 136-142, 2007.

BISSANI, C. A. et al.. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre. RS. 2008. 344p. Editora Metrópole. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, p. 363-375, 1986.

BRANDT, A. A. **Carregamento estático e dinâmico e sua relação com tensão, deformação e fluxos no solo**. 2009. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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).

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma** v.124, p.3–22, 2005.

CALL, R. E.; GIBSON, R.; KILBY, M. W. Pecan Production Guidelines For Small Orchards and Home Yards. 2006. Disponível em <http://gag.arizona.edu/pubs/garden/az1400.pdf>. Acesso em 24 de novembro de 2011.

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

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

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.

CARVALHO, A. P. V. et al . Resistência mecânica do solo à penetração na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p.1091-1097, 2012 .

CAVICHIOLO, S.R. et al. Modificações nos atributos físicos de solos submetidos a dois sistemas de preparo em rebrota de *Eucalyptus saligna* **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.4, p.571-577, 2005.

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

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

CECCON, C. Spatial and temporal effects of soil temperature and moisture and the relation to fine root density on root and soil respiration in a mature apple orchard. **Plant and Soil**. Vol. 342 pg. 195-206. Dec 29 2010.

Ceconi, D. E. et al. Biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild estabelecido em área degradada por mineração de carvão. **Floresta, Curitiba**. v. 38, n. 1, p. 1-10, jan./mar. **2008**.

Divinut, 2011. Saúde, sabor e requinte. www.divinut.com.br. (02.11.2011)

DIVINUT, Portal das nozes, disponível em <http://www.divinut.com.br/nogueira.htm> acessado em 10/10/2005.

DREWRY, J.J.; CAMERON, K. C.; BUCHAN, G.D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing- a review. **Australian Journal of Soil Research**, v.46, p.237- 256, 2008.

Durner, W. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure, **Water Resource. Research**, v.30, nº.2, p.211–223, 1994.

Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio Grande do Sul, **EMATER/RS-ASCAR**, 2014. Disponível em: http://biblioteca.emater.tche.br/pergamum/biblioteca/index.php#sobe_paginacao. Acesso em: 15 de jan. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. Ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. 306 p.

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

FAHEY, T. J.; HUGHES, J. W. Fine root dynamics in a northern hardwood forest ecosystem. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 82, n. 3, p. 533-548, June 1994.

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

FONSECA, F.; FIGUEIREDO, T.; MARTINS, A. Survival and early growth of mixed forest stands installed in a Mediterranean Region: Effects of site preparation intensity. **Forest Ecology and Management**. v.262, p.1905–1912, 2011.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L.; Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.5, p.635-646, 2003.

GATTO, D. A. **Características tecnológicas do vergamento das madeiras de *Luehea divaricata*, *Carya illinoensis* e *Platanus x acerifolia* como subsídios para o manejo florestal**. 2006. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GENT, J. A. et al. Impact of harvesting and site preparation on physical properties of Piedmont forest soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n.1, p. 173-177, jan. 1984.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETT, V.; FESSEL, V.A.G. & GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETT, V (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba, IPEF, 2000.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; WICHERT, M. C. P.; GAVA, J. L.; Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498p.

GONCALVES, J. L. M; MELLO, S. L. M. The root System of trees. In: Goncalves, J. L. M.; Benedetti, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba, SP: IPEF, 2004. p. 223-267.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 32, p. 180-186, 1968.

GRAUKE, L.J. The Scientific Name of the Pecã. **Horticultural Science**. v. 20 p. 629-630, 1985.

GRAUKE, L.J. Appropriate Name for Pecan. **Horticultural Science**. v. 26, 1991.

GRAUKE, L. J.; THOMPSON, T. E.. **Pecans and hickories**,. In: J. Janick and J.N. Moore (eds.). Nuts Fruit breeding vol. III.. Wiley, New York.. p. 185 – 239, 1996.

GROENEVELT, P.H.; KAY, B.D. & GRANT, C.D. Physical assessment of a soil with respect to rooting potential. **Geoderma**. v. 34, p. 101-114, 1984.

HALL, G. D. Pecan food potential in prehistoric North America. **Economic Botany**. p 103–112, 2000

HÅKANSSON, I.; LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil and Tillage Research**, v.53, p.71-85, 2000.

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

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. 771p.

HERRERA, E. A. “**Growth and Development of Pecan Nuts.**” Guide H-618. Cooperative Extension Service, New Mexico State University, 2000.

HUANG, Y. J., LIU, Y. S.; ZAVADA, M. New fossil fruits of *Carya* (Juglandaceae) from the latest Miocene to earliest Pliocene in Tennessee, eastern United States. **Jornal of Sytematics and Evolution**, v. 52: p.508–520, 2014.

IVERSEN, B.V. et al. Field application of a portable air permeameter to characterize spatial variability in air and water permeability. **Vadose Zone Jornal**, v. 2 p. 618-626, 2003.

JENKINS D. J. et al. Dose response of almonds on coronary heart disease risk factors: blood lipids, oxidized low-density lipoproteins, lipoprotein(a), homocysteine, and pulmonary nitric oxide. A randomized, controlled, crossover trial. **Circulation**, v.106, p.1327-1332, 2002.

JI, J. et al. Effect of spatial variation of tree root characteristics on slope stability. A case study on Black Locust (*Robinia pseudoacacia*) and Arborvitae (*Platycladus orientalis*) stands on the Loess Plateau, China, **CATENA**, v. 92, , p. 139-154, May 2012.

LIPE, J. A. et al. Home fruit production- pecãs. Dept. **Horticultural Science**, TX A & MU, College Station, TX. 24 Oct. 2009. <http://aggie-horticulture.tamu.edu/extension/homefruit/pecã/pecã.html>. Acesso em 21 de novembro de 2011.

KAISER, D. R. **Estrutura e água em argissolo sob distintos preparos na cultura do milho.** 2010. 150 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KAISER, D. R.; REINERT, D. R.; REICHERT, J. M.; COLLARES, G. L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:845-855, 2009.

KAHLON, M.S.; LAL, R.; ANN-VARUGHESE, M.. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. **Soil Tillage Res.** 126, p.151–158, 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**. Pat 1. Madison, American Society of Agronomy, p. 499-509. 1965.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KIRBY, J. M. The influence of soil deformations on the permeability to air. **European Journal of Soil Science**. v. 42, p. 227-235, 1991.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição de diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 857-867, 2002.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, p. 635-660, 1986.

KIM, T., et al. Studies on the effect of zinc supply on growth and nutrient uptake in pecan. **Journal of Plant Nutrition**. Vol.25: p. 1987-2000, 2002.

KROULIK, M.; KUMHALA, F.; HULA, J.; HONZÍK, I. The evaluation of agricultural machines field trafficking intensity for different soil tillage technologies. **Soil Tillage Research**, v. 105: p.171-175, 2009.

KUMAR, K. et al. Heritability estimates, correlation and path analysis studies for nut and kernel characters of Pecan (*Carya illinoensis* [Wang] K. Koch). **African Journal of Agricultural Research**. v. 8 nº 18, pp. 1915-1919, 16 May, 2013

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.

LAZAROTTO, M. et al. First report of *pestalotiopsis clavispora* causing leaf spot of *Carya illinoensis* in Brazil. **Plant Disease**, v. 96, n. 12, p 588, 2012.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 1ª ed. Piracicaba: Edusp, 2005. 335p.

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

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
<<http://www.agricultura.gov.br/internacional/indicadores-e-estatisticas/balanca-comercial>> Acesso em 22 de novembro de 2014.

MIYAZAWA, M. et al. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. cap. 4, p. 171-224.

MONIZ, A.C. **Elementos de pedologia**. USP, Polígono, São Paulo, 1972.

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

MORENO H. N.; WALWORTH J. L. ; KILBY M. W.; POND P. A. Soil Zinc Fertilization of 'Wichita' Pecan Trees Growing Under Alkaline Soil Conditions. **Horticultural Science**, v. 44, n. 6, p. 1736-1740, 2009.

Navroski, M. C.; Schumacher, M. V. Quantificação do comprimento de raízes de uma Floresta Estacional Decidual na região de Itaara – RS – Brasil: UFSM/FATECIENS, Departamento de Ciências Florestais. 2007. (Relatório Técnico).

ORTIZ, E. R. N.; CAMARGO, L. E. A. Doenças da Nogueira Pecan. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L.; RESEND, J.A.M; CAMARGO, L.E.A. **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda v 2, p. 501-501, 2005.

ORTIZ, E. R. N., 2000. **Propriedades nutritivas e nutracêuticas das nozes**. Monografia, Especialização em Tecnologia de Alimentos, Universidade de Santa Cruz do Sul, 2000.

PAULINO, A. F. et al. Influence of seedling production method on the root system distribution of black wattle trees. **Revista Árvore**. Viçosa , v. 27,n. 5,p. 605-610, 2003.

PETH S; HORN R. The mechanical behaviour of structured and homogenized soil under repeated loading. **Plant Nutrition and Soil Science**. p.401-410, 2006.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, 2009.

PLANTE, P M. et al. Root distribution of different mature tree species growing on contrasting textured soils in temperate windbreaks. **Plant and Soil**, v. 380, Issue 1-2, p. 429-439, 2014.

POND, A.P. et al.. **Leaf nutrient levels for pecans**. Horticultural Science, v. 41, p. 1339–1341, 2006

PRADO, A. C. P. et al. Relationship between antioxidant properties and chemical composition of the oil and the shell of pecan nuts [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch]. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 64–73, 2013

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

PREVEDELLO J. et al. Manejo do solo e crescimento inicial de eucalyptus grandis hill ex maiden em Argissolo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 129-138, jan.-mar., 2013.

PREVEDELLO J. et al. Agregação e matéria orgânica de um argissolo sob diferentes preparos do solo para plantio de Eucalipto. **Brazilian Journal of Forestry Research**. p. 1-10, 2014.

RASBAND, W. S. U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, www.imagej.nih.gov/ij/, ImageJ 1.49g, 1997–2014.

RASSE, D. P.; SMUCKER, A.J.M.; SANTOS, D. Alfafa root and shoot mulching effects on soil hydraulic properties and aggregation. **Soil Science Society of American Journal**. V. 64, p. 725-731, 2000.

REIGER, M. Pecan - *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch. Georgia: University of Georgia, 2004. Disponível em: <<http://www.uga.edu/fruit%20pecan.htm>>. Acesso em: 21 jun. 2012.

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

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

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop. production

in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v.102, p.242-254, 2009.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e testes. **Ciência Rural**, v.36, p.1931-1935, 2006.

REIS, G. G. et al. Crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. cloeziana* sob diferentes níveis de restrição radicular. **Revista Árvore**, Vicosa, MG, v. 13, n. 1, p. 1-18, jan./fev. 1989.

RODRIGUES, S. et al. Permeabilidade ao ar em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, Feb. 2011

ROUSSEAU, R. J. **A taxonomic and genetic study of *Carya illinoensis*, *C. aquatica* and their hybrid *C. x lecontei***. Thesis (M.S.), 1976. Louisiana State University, Baton Rouge, LA.

SAMPIETRO, J. A. **Propriedades mecânicas e trafegabilidade de solos em plantios florestais**. 2013. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SANTANA, M. B. et al. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.1, Feb. 2006.

SEQUINATTO, L. **Qualidade física do solo e rendimento de grãos num Argissolo em processo de recuperação**. 2010. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHENK, H. J. Root competition: beyond resource depletion. **Journal Ecology**, Oxford, v. 94, n. 4, p. 725-739, July 2006.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2.ed. Santa Maria: Centro de Pesquisas Florestais, UFSM, 1998. 236p.

SEKI, K. A program for nonlinear fitting of soil water retention curve written in numerical calculation language GNU Octave, J. **Japanese Society of Soil Physics**. (in Japanese), in press. p. 407,437, 2007.

SHAPIRO, S.S. & WILK, M.B. Analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, 52:591-611, 1965.

SILVA, A. P. Interação manejo versus física. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15°, 2004, Santa Maria-RS. **Palestra em CDROM...**Santa Maria, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, F. de A. S. ASSISTAT Versão 7.7 beta (2014) - DEAG-CTRN-UFCG <http://www.assistat.com> - Atualiz.06/12/2014.

SILVA, S. R. Efeitos da compactação sobre características físicas, químicas e microbiológicas de dois Latossolos e no crescimento de eucalipto. 2005. 97p. Doutorado (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

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

SILVEIRA JUNIOR, S. D. et al . Qualidade física de um latossolo vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 36, n. 6, Dec. 2012 .

SMITH, M. W; CHEARY, B. S. Size of the vegetation-free area surrounding pecan trees in a tall fescue sod affects production. **Scientia Horticulturae**, v. 172, p. 206-209, 2014.

SPARKS, D. Geographical Origin of Pecan Cultivars Influences Time Required for Fruit Development and Nut Size. **Jornal of America Social Hortscience**, v. 116 n. 4 p. 627-631, 1991.

STAPE, J. L.; ANDRADE, S.; GOMES, A. N.; KREJCI, L. C.; RIBEIRO, J. A. Definição de métodos de preparo do solo para silvicultura em solos coesos do litoral norte da Bahia. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498p

STAPE et al. Definição de métodos de preparo do solo para silvicultura em solos coesos do litoral norte da Bahia. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.

Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF, 2002, cap. 7, p. 259-296.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE – SAS/STAT. Procedure guide for personal computers. 5.ed. Cary, NC: SAS Inst. 2003. 334p.

STRECK, C. A. et al . Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 32, n. spe, Dec. 2008

STRECK, C. A. **Índice s e fluxo de água e ar em solos do sul do Brasil.** 2007. 96 f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; KAISER, D.R.; KUNZ, M.; PELLEGRINI, A.; REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A. Teor de argila de solos sob diferentes tempos de agitação horizontal, tempo de contato do dispersante químico e dispersão mecânica. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria, Anais. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004a. 1 CD-ROM

SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; KAISER, D.R.; KUNZ, M.; PELLEGRINI, A.; REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A. Areia total de solos sob diferentes tempos de agitação horizontal, tempo de contato do dispersante químico e dispersão mecânica. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria, Anais. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004b. 1 CD-ROM

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength-root penetration relations of coarse textured materials. *Soil Science*, Baltimore, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1996.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 118 p. (Boletim Técnico).

TERABE, N. I; MARTINS, C. M.; HOMECHIN, M. Microrganismos associados a frutos de diferentes cultivares de noz Pecan. **Ciência Agrotecnica**, Lavras , v. 32, n.º 2, 2008.

THOMPSON, T.E; HUNTER, R. Pawnee: USDA's newest pecan release. **Pecan South**, v. 19 n. 1 p. 10-11, 1985.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Jornal of Soil Science**, v. 62, p.141–163, 1982.

TOOLE, E. R. Pecã (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch). In **Silvics of forest trees of the United States**. U.S.A. Department of Agriculture, Agriculture Handbook v. 271, Washington, DC. p. 121-123, 1965.

USDA **Crop Profile for Pecans in Texas**. May 2000. <http://pestdata.ncsu.edu/cropprofiles/docs/txpecans.html> Acessado em 22 de novembro de 2011.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; LIBERALESSO, E. Mixed and monospecific stands of eucalyptus and black-wattle: A fine root length density. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, 2012

VEIGA, M. et al. Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a southern brazilian Hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1437-1446, 2008.

ZHANG J. B. et al. Integrated Fossil and Molecular Data Reveal the Biogeographic Diversification of the Eastern Asian-Eastern North American Disjunct Hickory Genus *Carya* Nutt. **PLOS ONE**. 2013

WELLS, M. L.. Pecan Nutrient Element Status and Orchard Soil Fertility in the Southeastern Coastal Plain of the United States. **Horticultural Technology**. v. 19 n. 2 p. 432-438, 2009.

WENDLING, B. et al. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Jornal**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 256-265, 2012.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 177-183, 2003.

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

APÊNDICE A – Descrição geral do perfil na área do experimento.

A) DESCRIÇÃO GERAL DATA – 15/07/2014

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd)

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira na área do experimento.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Serra Geral e Botucatu

DESCRITO E COLETADO POR – Julio Cesar Wincher Soares, Andrea Franco, Eloi Paulus

B) DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0-10 cm, bruno-escuro (5 YR 4/3, úmido); franco arenoso; fraca pequena e média granular e fraca pequena a média blocos subangulares; poroso, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição clara e plana; presença de raízes.

Ap1 10-31 cm, bruno (5 YR 4/3, úmido); franco arenoso; moderada pequena a média blocos subangulares; firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana; presença de poucas raízes finas a médias.

A1 31-57 cm, bruno (2,5 YR 3/4, úmido) franco argilo arenoso; moderada pequena a grande blocos angulares; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana, poucas raízes, finas a médias.

E 57-94 cm, bruno (5 YR 4/6, úmido); com mosqueado bruno-avermelhado, argilo siltosa; moderada pequena a grande blocos subangulares; friável, pouco plástico e pouco pegajoso; transição difusa, poucas raízes.

B1 94-124 cm, vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido); muito argilosa; moderada média a grande blocos subangulares; poroso; cerosidade moderada e comum; firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

Bt1 124-160 cm; bruno avermelhado escuro (2,5YR 5/6, úmido); franco argilo arenoso; moderada, blocos angulares; poroso; ligeiramente duro, friável, pouco plástico e pouco pegajoso; transição abrupta; raras raízes.

Bt2 160+ cm, bruno-escuro (2,5 YR 4/6, úmido) com mosqueado bruno-avermelhado (5 YR 4/4, úmido); franco argilo arenoso; fraca média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; poroso; duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; raízes raras.

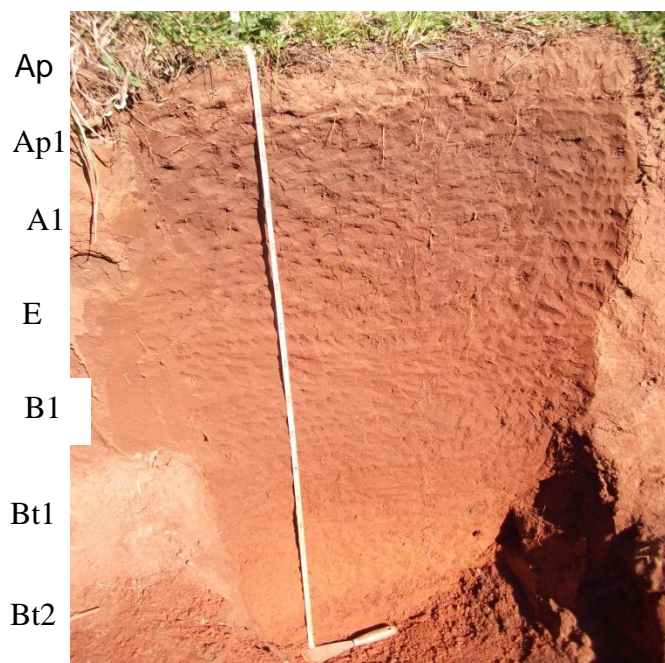


Foto representativa do Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd)

Foto: Eloi Paulus

APENDICE B – Análises físicas e químicas do solo.

Análises físicas e químicas do Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd)

Horizonte	Frações da amostra total %	Composição granulométrica %							Argila natural	Grau de floculação %	Relação Silte/argila
		Simbolo	Prof	Calhau	Cascalho	Terra fina	Areia grossa	Areia fina			
	cm	> 20 mm	20-2 mm	< 2 mm	2-0,2mm	0,2-0,005mm	0,05-0,002mm	< 0,002mm			
Ap	0-10	0	0	100	38,53	32,29	17,70	22,00	11,48	47,80	0,80
AP1	10-31	0	0	100	35,48	30,01	17,89	26,00	16,62	36,06	0,69
A1	31-57	0	0	100	25,46	27,67	19,98	35,00	26,90	23,15	0,57
E	57-94	0	0	100	23,51	26,57	21,06	40,00	28,86	27,86	0,53
B1	94-124	0	0	100	18,27	24,20	16,90	56,00	40,63	27,44	0,30
Bt1	124-160	0	0	100	21,55	29,21	19,52	39,00	29,72	23,80	0,50
Bt2	160+	0	0	100	13,78	25,41	23,52	47,00	37,29	20,66	0,50

Simbolo	Prof. cm	Argila	Textura	pHH2O	P			M.O.	Al				CTC ef	CTC ph7	Saturação bases %	Saturação Al
					mg/dm³	K	%		Ca	Mg	H+Al	(cmolc/dm³)				
Ap	0-10	21	3	5,4	2,2	52	1,3	0,1	2,3	0,8	2,8	3,3	6	53,4	3	
AP1	10-31	27	3	5,6	0,7	28	0,9	0	3,3	1,6	2,2	5	7,2	68,9	0	
A1	31-57	35	3	4,9	0,7	24	0,8	1,3	1,7	1,1	4,9	4,1	7,7	37	31,7	
AE	57-94	39	3	4,8	0,7	24	0,7	2,2	1,3	0,6	8,7	4,2	10,7	18,3	52,4	
E	94-124	51	2	4,7	0,7	32	0,8	2,8	2,8	0,8	9,7	6,4	13,3	27,4	43,8	
B1	124-160	39	3	4,9	2,2	48	0,5	2	1,8	0,7	4,4	4,6	7	37	43,5	
BT	160+	47	2	5,1	1,5	68	0,2	1,3	1,9	0,9	3,5	4,3	6,5	46,2	30,2	

APÊNDICE C – Raízes de nogueira-pecã.



Apêndice C – Coleta total do sistema radicular com 2 anos de idade da nogueira-pecã no experimento na FEPAGRO florestas – Santa Maria - RS. Foto: Eloi Paulus

APENDICE D – Raíz de nogueira-pecã após lavagem e secagem ao ar livre.



Imagem da raíz da nogueira-pecã com 2 anos de idade.

Foto: Eloi Paulus