

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

**ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTAÇÕES DE
EUCALYPTUS sp. IMPLANTADOS EM CAMPO
NATIVO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Charlote Wink

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTAÇÕES DE
EUCALYPTUS sp. IMPLANTADOS EM CAMPO NATIVO**

por

Charlote Wink

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

Orientador: Prof. Dalvan José Reinert

Santa Maria, RS, Brasil

2009

W773e Wink, Charlotte, 1982-
Estoque de carbono em plantações de *Eucalyptus* sp. implantados em campo nativo / por Charlotte Wink ; orientador Dalvan José Reinert. - Santa Maria, 2009.
130 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2009.

1. Engenharia florestal 2. Eucalipto 3. Biomassa 4. Carbono 5. Fracionamento físico 6. Matéria orgânica 7. Argissolo I. Reinert, Dalvan José, orient. II. Título

CDU: 631.4:630.2

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

© 2009

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

Endereço: Av. Roraima, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, prédio 44, sala 5317. Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97105-900.

Fone: (0xx) 55 9984-6261 - E-mail: charlotewink@yahoo.com.br

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

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

**ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTAÇÕES DE *EUCALYPTUS* sp.
IMPLANTADOS EM CAMPO NATIVO**

elaborada por
Charlotte Wink

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dalvan José Reinert, Ph.D.
Presidente/Orientador

Paulo Renato Schneider, Dr. (UFSM)

Celso Aita, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 03 de março de 2009.

DEDICATÓRIA

*Acreditamos muitas vezes que o caminho é difícil,
que por nossas limitações ou forças não somos
capazes de conquistar muito além do que chamamos
de sonho, mas quando acreditamos que esta força
está em nosso coração repleta de amor e esperança
consequimos nos desvencilhar de tudo e em
então voar cada vez mais alto, sentindo a liberdade,
a leveza, voltando a ser criança e com a certeza
que o dever foi cumprido da melhor maneira possível.*

*Ao meu pai LOTÁRIO, minha mãe HERMINE,
meu irmão MARLON e minha irmã BETINA,
que compartilharam todos os momentos
Dedico...*

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu refúgio e minha luz, na sua ausência não poderia chegar aonde já cheguei.

Ao meu cunhado *Ibraim* e à minha cunhada *Carine*, pela torcida de boa sorte.

À *Marisa, Alana, Jeane, Caroline* e *Camila*, por acreditarem que a realização está além do meu sonho.

Ao orientador, Prof. *Dalvan*, que incentivou a realização deste trabalho, e soube pacientemente confiar e orientar. Em especial à sua esposa, *Ângela*, pela amizade e apoio.

À banca examinadora, Prof. *Celso Aita*, Prof. *Miguel Antão Durlo* e Prof. *Paulo Renato Schneider*, pela experiente contribuição na melhoria deste trabalho.

Às amigas *Josita e Marta*, amigas incondicionais e eternas que o tempo, à distância e as circunstâncias não apagam de nossas vidas.

Aos amigos (as) *Miriam, Maurício, Fabiano, Leandro, Paulo, Neiva, Suzana, Marcelo, Luciano e Edenilson*: vocês são co-autores desta obra e este resultado é uma parte de cada um de vocês.

Aos colegas do Laboratório de Física do Solo, obrigada pela ajuda e companheirismo.

Aos amigos, *Ricardo* e *Alexandre*, pela ajuda no fracionamento físico e geoprocessamento. Gratificante é ter recebido a ajuda de vocês.

Aos amigos (as) *Micheli, Nádia, Juceli, Catize & família, Fernanda, Francisca, Elzira e família, Kênia, Claudinha, Patrícia, Gerônimo* e ao Prof. *Bruno Reissmann*. Não importa a distância, o que importa são as recordações que ficam, o companheirismo a confiança e a amizade incondicional construída.

Aos colegas do Laboratório da Química e Fertilidade dos Solos, *César, Marcelo, Alcione, Diego* e *Luis Francisco Finamor*, pela ajuda e pela amizade.

Ao colega, Engenheiro Florestal, *Ivanor Muller*, pela ajuda e pelas discussões.

Ao *Jorge* e à *Gel*, obrigada por serem magníficas pessoas.

Às amigas *Ana Paula, Márcia* e *Liane*: a amizade, a presença, as conversas e a transmissão de experiências foram decisivas.

Aos amigos da *UFRGS*, *Gustavo, Fabíola, Elisandra* e o Prof. *João Mielniczuk*, pelas dicas e transmissão de conhecimento no estudo investigativo do carbono no solo.

Ao *Humberto Queiroz*, pelas conversas, discussões e grande amizade.

A *CAPES*, pelo apoio financeiro e pela disponibilidade do Portal Capes.

Ao *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal*, pela oportunidade, em especial à secretária *Cerlene*, pela amizade e prestatividade.

À *Fepagro Florestas*, por disponibilizar o espaço físico para a realização desta pesquisa, em especial ao *Fábio, Plínio e Paulo*, pela sempre disposição em ajudar.

Aos funcionários da Secretaria do *Centro de Ciências Rurais*, em especial à *amiga Neli Nunes* e ao amigo *Prof. Irineo Zanella*.

Deixo meu muito obrigada a todos aqueles que não foram mencionados, mas que, de uma forma ou outra, estiverem presentes nesta etapa importante, dando-me o apoio, o sorriso, o ombro, torcendo pela concretização desta proposta e, acima de tudo, acreditando em mim, levando consigo, de coração gaúcho, o meu carinho e minha gratidão.

RESUMO

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

ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTAÇÕES DE *EUCALYPTUS* sp. IMPLANTADOS EM CAMPO NATIVO

AUTORA: CHARLOTE WINK

ORIENTADOR: DALVAN JOSÉ REINERT

DATA E LOCAL DA DEFESA: SANTA MARIA, 03 DE MARÇO DE 2009.

O cultivo planejado e consciente do solo com a manutenção do resíduo em superfície e o crescimento equilibrado da vegetação pode amenizar a emissão de carbono (C) para a atmosfera. O objetivo do estudo é conhecer o efeito das florestas de eucalipto aos 20, 44 e 240 meses de idade e do campo nativo no estoque de C em Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico, em Santa Maria, Rio Grande do Sul. A produção florestal foi determinada pela cubagem rigorosa por meio do método de Smalian de árvores-amostras selecionadas a partir do cálculo do desvio padrão do diâmetro à altura do peito, obtido por inventário florestal. A estimativa do C na biomassa arbórea foi determinada por pesagem da massa seca dos componentes folhas, galhos, madeira e casca das árvores-amostra, transformados em C considerando um fator de 0,45, conforme Wang et al. (2001). O C presente na serapilheira das florestas, na vegetação do campo nativo, no solo, em seis camadas distribuída em profundidade e nas frações da matéria orgânica particulada e associada a minerais foi determinado por meio de autoanalisador CHNS. As demais propriedades físicas do solo como a porosidade total, macro e microporosidade, densidade de partícula, foram também relacionadas ao efeito das florestas de eucalipto. A caracterização química do solo também foi realizada. Posteriormente à análise de distribuição normal dos dados bem como da homogeneidade de variância, cada variável foi submetida à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os maiores estoques de carbono estão no componente madeira e na casca independente da idade das florestas, tendendo à diminuição do percentual para os componentes galhos e folhas. A produção do material arbóreo florestal agregado ao material em decomposição, bem como o seu estoque de carbono, aumentam sobremaneira quando da substituição da vegetação nativa de campo para as florestas de eucalipto, adquirindo expressividade no decorrer do crescimento e desenvolvimento das florestas. O teor e estoque de carbono no solo são baixos, indicando que o crescimento das florestas de eucalipto em substituição à vegetação nativa de campo não agregou um aumento significativo, ao contrário das constatações no componente vegetal. As camadas com maior percentual de argila não refletem diferença na presença de C comparado às camadas mais arenosas, ou superficiais, com maior presença de material orgânico. A fração matéria orgânica particulada foi a mais sensível às variações de idade de povoamento e uso da área, e menor variação na fração associada aos minerais do solo devido a suas características de proteção. Para as propriedades físicas do solo, não se observaram variações significativas quando da substituição do campo nativo pelas florestas de eucalipto. Portanto, as proposições para estudos desta magnitude objetivando o mercado de carbono e das florestas como mecanismos de desenvolvimento limpo deverão ser fidedignamente avaliadas e monitoradas durante o crescimento das florestas.

Palavras-chave: eucalipto; biomassa; carbono; fracionamento físico; matéria orgânica; argissolo.

ABSTRACT

Master Thesis

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Floresta
Universidade Federal de Santa Maria

CARBON STOCKS IN *EUCALYPTUS* sp. PLANTATIONS IMPLANTED IN NATIVE FIELD

AUTHOR: CHARLOTE WINK

ADVISER: DALVAN JOSÉ REINERT

DATE E PLACE OF THE DEFENSE: SANTA MARIA, MARZ, 3TH, 2009

The soil management with emphasis in keeping soil residues on surface combined with vegetation growth may reduce carbon (C) emission to the atmosphere. The objective of this study is to measure the effects of the Eucalyptus Forest 20, 44 and 240 months old and native grassland on carbon sequestration in Paleudult, in Santa Maria, RS. The forest production was determined by Smalian method measuring selected trees, chosen from forest inventory based on standard deviation of breast height. The carbon of trees biomass was measured by weighting dry matter of leaves, branches, wood and cork and after converting to C by multiplying by 0.45. The C content in the forest litter, grassland, soil particulate and mineral associated organic matter in six soil layers were determined by CHNS auto analyzer. Soil physical properties as total, macro and microporosity, particle density and size distribution were determined and related to Eucalyptus and grassland. Soil samples were also used to measure some soil chemical properties. The dataset were tested to detect if there were normal distribution and variance homogeneity. To normal or transformed data, analysis of Variance and Tukey test (5%) for variables with significant F was applied. The greatest C stocks were in the wood and cork in all forest ages, however, the proportional C in leaves and branches decreased with Eucalyptus age. The C stock in forest production added to grassland and litter dry matter increased with substitution of grassland by Eucalyptus Forest, and the difference increased with the age of trees. The content and stock of soil C are low and did not increase with introduction of forest on grassland soil. The soil layers with higher clay content had less C as compared to surface layers with lower clay content and higher C. The particulate organic matter varied the most with forest age and grassland indicating higher sensibility than organic matter associated with soil minerals. The introduction of forest on grassland did not change soil physical properties suggesting that more detailed studies should be done in order to better measure the impact of trees plantation.

Keywords: eucalyptus; biomass; carbon; physical fractioning; organic matter; alfisol;

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Localização do estado do Rio Grande do Sul e do município de Santa Maria, RS, Brasil.....	38
FIGURA 2 - Solos do Centro de Pesquisas de Recursos Florestais - Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil. Escala (1:15.000).....	40
FIGURA 3 - Ocupação dos solos da Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil, para o ano de 1964. Escala (1:20.000).....	42
FIGURA 4 - Ocupação dos solos da Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil, para o ano de 1988. Escala (1:20.000).....	42
FIGURA 5 - Ocupação dos solos da Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil, para o ano de 1996. Escala (1:20.000).....	43
FIGURA 6 - Ocupação dos solos da Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil, para o ano de 2008.....	43
FIGURA 7 - Dados gerais dos tratamentos, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	46
FIGURA 8 - Desgalhamento (a) e desfolha (b) das árvores dos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	50
FIGURA 9 - Cubagem pelo método de Smalian (a); Pesagem dos toretes com casca (b); Descasque (c); Pesagem dos toretes sem casca (d) das árvores-amostra dos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	51
FIGURA 10 - Material superficial do solo (a) dos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e vegetação de campo nativo (CN: b); material embalado (c); pesagem (d), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	53
FIGURA 11 - Trituração grosseira (a) e fina (b) do material superficial do solo dos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e da vegetação de campo nativo, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	54
FIGURA 12 - Análise química do solo (leitura de $pH_{\text{água}}$ e índice SMP).....	55
FIGURA 13 - Determinação da densidade de partícula pelo método do balão volumétrico modificado, sendo a pesagem (a), a aferição com álcool etílico (b) e os balões com solo e álcool etílico (c).....	57
FIGURA 14 - Fracionamento físico da matéria orgânica do solo obtendo a fração particulada (MMO) e a fração associada a minerais (COM).....	59
FIGURA 15 - Massa seca total ($Mg\ ha^{-1}$) e estoque de carbono total ($Mg\ ha^{-1}$) nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e o campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	65
FIGURA 16 - Massa seca (a) e percentual de massa seca (b) nos componentes arbóreos em povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	69

FIGURA 17 - Massa seca (Mg ha^{-1}) das folhas e galhos (a), e da madeira e casca (b) em povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	70
FIGURA 18 - Estimativa do estoque de carbono (Mg ha^{-1}) nas folhas, galhos, madeira e casca em povoamentos <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	74
FIGURA 19 - Estoque de massa seca (Mg ha^{-1}) e carbono no piso florestal (Mg ha^{-1}) nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	78
FIGURA 20 – Teor de carbono: g kg^{-1} (A); estoque de carbono (Mg ha^{-1}) na camada (C) e estoque de carbono (Mg ha^{-1}) a cada centímetro da camada (B) no solo dos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	85
FIGURA 21 - Estoque de carbono (Mg ha^{-1}) nas camadas de solo nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2), 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	87
FIGURA 22 - Perfis de solos dos povoamentos <i>E. sp.</i> com 20 (E1: B), 44 (E2: C) e 240 (E3: D) meses de idade e campo nativo (CN: A), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	90
FIGURA 23 - Triângulo textural e estoques de carbono (Mg ha^{-1}) nas camadas de solo nos povoamentos <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	97
FIGURA 24 - Estoques médios de carbono (Mg ha^{-1}) nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN) no solo, na vegetação e no piso florestal, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	99
FIGURA 25 - Teor (g kg^{-1}) e estoque de carbono (Mg ha^{-1}) nas frações da matéria orgânica do solo nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN)	103

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Média dos dados climáticos para a região de Santa Maria, RS, Brasil, para o período de 1964 a 2006.....	39
TABELA 2 - Caracterização química do solo dos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	56
TABELA 3 - Dados dos povoamentos de <i>E. sp.</i> , Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	63
TABELA 4 - Análise de variância para a massa seca arbórea ($Mg\ ha^{-1}$) nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	72
TABELA 5 - Análise de variância para o estoque de carbono ($Mg\ ha^{-1}$) nos componentes arbóreos nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	75
TABELA 6 - Caracterização granulométrica das camadas de solo nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	95
TABELA 7 - Teor ($g\ kg^{-1}$) e estoque de carbono ($Mg\ ha^{-1}$) nas frações da matéria orgânica do solo nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20m, nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	101

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Análise de variância para a massa seca total (Mg ha^{-1}), com dados na base logarítmica natural para os povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	126
APÊNDICE B - Análise de variância para o estoque de carbono na massa seca total (Mg ha^{-1}), com dados na base logarítmica natural para os povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	126
APÊNDICE C - Correlação linear de Pearson para a massa seca (Mg ha^{-1}) e carbono (Mg ha^{-1}) de folhas, galhos, casca e madeira em função da idade dos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	126
APÊNDICE D - Análise de variância para a massa seca no piso florestal (Mg ha^{-1}) nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	126
APÊNDICE E - Análise de variância para o estoque de carbono do piso florestal (Mg ha^{-1}) nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	127
APÊNDICE F - Valores de F, probabilidade, coeficiente de variação e R^2 para as propriedades físicas do solo e para carbono no solo nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	127
APÊNDICE G - Comparação de médias para as propriedades físicas do solo, para teor (g Kg^{-1}) e para estoque (Mg ha^{-1}) de carbono no solo nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	129
APÊNDICE H - Valores do teste de homogeneidade de variância e distribuição normal dos dados para o teor (g kg^{-1}) e estoque (Mg ha^{-1}) de carbono nas frações da matéria orgânica do solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10 -0,20 m nos povoamentos de <i>E. sp.</i> com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.....	130

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Efeito estufa e mudanças climáticas.....	18
2.2 Ciclo do carbono: vegetação, solo e matéria orgânica.....	19
2.2.1 Vegetação.....	21
2.2.1.1 Biomassa florestal.....	22
2.2.2 Solo e matéria orgânica.....	25
2.3 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo.....	32
2.4 Sistema florestal – descrição e histórico.....	34
2.4.1 Gênero <i>Eucalyptus</i>	35
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1 Área de estudo.....	37
3.2 Localização.....	37
3.3 Clima.....	38
3.4 Solos.....	39
3.5 Histórico e caracterização da vegetação.....	41
3.6 Descrição dos tratamentos.....	44
3.7 Vegetação.....	46
3.7.1 Medição das árvores e produção florestal.....	46
3.7.2 Biomassa e estoque de carbono nos povoamentos de <i>E. sp</i>	49
3.7.3 Carbono no piso florestal e no campo.....	53
3.8 Solo.....	54
3.8.1 Caracterização química do solo.....	55
3.8.2 Textura do solo.....	57
3.8.3 Densidade do solo e de partícula.....	57
3.8.4 Porosidade do solo.....	58
3.8.5 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo.....	58
3.8.6 Determinação do estoque de carbono.....	60
3.9 Análise estatística.....	60
3.9.1 Massa seca vegetal total e estoque de carbono vegetal total.....	61
3.9.2 Massa seca arbórea e estoque de carbono arbóreo.....	61

3.9.3 Massa seca e estoque de carbono no piso florestal.....	61
3.9.4 Propriedades físicas, carbono no solo e nas frações da matéria orgânica.....	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4.1 Características das árvores e produção florestal.....	63
4.2 Massa seca vegetal total e estoque de carbono total.....	64
4.3 Massa seca e estoque de carbono arbóreo.....	68
4.4 Massa seca e estoque de carbono no piso florestal.....	77
4.5 Solos.....	80
4.5.1 Propriedades físicas do solo.....	80
4.5.2 Teor e estoque de carbono no solo.....	84
4.6 Estoque total de carbono nos tratamentos.....	98
4.7 Fracionamento físico da matéria orgânica no solo.....	101
5 CONCLUSÕES.....	107
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
APÊNDICE.....	125

1 INTRODUÇÃO

O aumento do CO₂ na atmosfera vem se intensificando, especialmente após a Revolução Industrial, em função da expansão desordenada e desplanejada das atividades industriais, agrícolas e de uso da terra, sendo isto comprovado cada vez mais pela academia científica.

As principais fontes de despejo de gás carbônico no ar podem ser originadas pelas atividades antrópicas por meio da queima de combustíveis fósseis e principalmente pela alteração de uso da terra como a destruição da vegetação nativa. Nesta realidade, o incremento de carbono na pedosfera (solo) tem relevância positiva para a manutenção da qualidade do ar e estabilidade da vida, devido à melhoria da qualidade do solo e à capacidade de regulação da atmosfera-solo, servindo como estratégia no manejo sustentável do solo (LAL; KIMBLE; FOLLET, 1998). Apesar de se referenciar especialmente ao carbono, não se devem desmerecer a importância e os efeitos dos demais gases do efeito estufa, como o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) (COSTA; ZANATTA; BAYER, 2008).

Graças à exuberância dos processos fisiológicos de crescimento dos ecossistemas terrestres, grande parte do CO₂ pode ser acumulada anualmente nas plantas ou no solo, reduzindo sua armazenagem na camada atmosférica. O carbono é importante devido à sua abundância nos diversos compartimentos como solo, matéria orgânica, oceanos, rochas e no “corpo” estrutural das células vegetais. Destes compartimentos, o solo, recurso vital na produção de alimentos, fibras, sustentação da população no planeta e integrante dos grandes ciclos biogeoquímicos, é um dos mais importantes meios para esta finalidade. Sua importância ainda se dá devido aos mecanismos interativos com a atmosfera e a biosfera (LAL; KIMBLE; FOLLET, 1998). Muitos trabalhos vêm sendo conduzidos com a intenção de melhor entender esta dinâmica de mineralização dos compostos orgânicos e sua magnitude nos processos do solo.

Do princípio de construção de um ambiente equilibrado compatibilizando os alicerces do estudo ecológico do Meio Ambiente, busca-se ressarcir a decadente qualidade ambiental identificando e estudando as inter-relações de causas e efeitos dos compartimentos terrestres potencialmente significativos na apreensão do excesso de carbono. Pela deposição e decomposição do material vegetal e

formação da matéria orgânica, grande parte do carbono fixado na biomassa vegetal retorna ao ambiente edáfico. O manejo adequado do solo pelo seu mínimo revolvimento bem como a implantação de sistemas que maximizem a adição de resíduos por tempo e por área com menores velocidades de decomposição garantem o incremento dos estoques de matéria orgânica, fundamental na diminuição da emissão de gases à atmosfera. Frente a isto, a vegetação torna-se ponto-chave na manutenção de bons níveis de CO₂, com indicação de que a diminuição do desmatamento, bem como o aumento de áreas florestadas e reflorestadas, são estratégias efetivas a fim de se atingir objetivos ecologicamente corretos. Conhecer e correlacionar as reações do solo, das frações da matéria orgânica à produção e crescimento vegetal, é à base do programa de produtividade e qualidade ambiental.

Pensando em uma visão mitigadora deste problema ambiental, a utilização das florestas como mecanismo para esta transformação é uma resposta visto que o extrativismo florestal nativo é a atividade mais antiga realizada no território brasileiro. Desde 1500, este recurso é utilizado por etnias européias (HASSE, 2006). Mais tarde, este cenário se dividiu com outras atividades, como a caça, a pesca, a mineração, a pecuária, a agricultura, como a cana-de-açúcar, o algodão, o café e, mais tarde, outras culturas, especialmente as florestais, intensificando-se em meados do século XIX a partir dos movimentos de tropeiros no território brasileiro.

Nesta condição histórica, o mercado do reflorestamento é uma boa estratégia, ou seja, é um imenso reservatório de carbono e um regulatório natural de CO₂ no ambiente. O Brasil é um dos países com maior área apta para este uso, apresentando grande proporção de reflorestamentos com pinus e especialmente eucalipto, em função do extenso cenário de estabelecimento comercial no Sul. A importância das florestas no estado do Rio Grande do Sul só passou a ganhar expressão no final dos anos 70 a partir dos incentivos fiscais ao reflorestamento e, atualmente, pela instalação de multinacionais produtoras de celulose e papel bem como pelos incentivos de plantios em médias e pequenas propriedades rurais através do fomento florestal. Nesse contexto, o eucalipto passou a assumir um papel de destaque por sua facilidade de adaptação, rápido crescimento, extensão de área produtiva, fornecimento de diversos produtos e subprodutos, além da funcionalidade ambiental através da amenização do impacto exploratório sobre as florestas naturais.

A produtividade por parte desta cultura, entretanto, não pode ser centrada apenas no retorno monetário, mas principalmente no potencial destas na retenção de carbono da atmosfera e acumulação de compostos poluentes e nocivos à qualidade de vida. Estas questões de ordem silvicultural e ambiental são dependentes das condições de sítio, idade das florestas, agregadas à adoção de práticas de manejo que minimizem as taxas de decomposição do material vegetal superficial, na dinâmica da matéria orgânica, bem como no balanço de carbono. Assim, para o manejador florestal, é de extrema importância o uso de variáveis de fácil acompanhamento para a previsão de possíveis respostas ao longo do tempo, antecipando prováveis mudanças nas estratégias de planejamento da produção florestal com garantia da sustentabilidade ambiental (BRUN, 2008). Das variáveis, Paul et al. (2002) afirmam que a idade do reflorestamento é um importante fator associado ainda ao sítio, ao manejo e ao solo, influenciando assim as alterações de carbono no solo.

Reconhecer esta faceta utilizando reflorestamentos equiâneas implantados exige avaliações multiperiódicas ou multitemporais inferindo sobre a quantidade de carbono que a floresta armazena no decorrer do seu crescimento. Na escala temporal, esta dinâmica é detectada pelo planejamento englobando atividades como o mapeamento das áreas, o inventário florestal e, por fim, a quantificação do carbono na biomassa e no solo. O mapeamento serve de base no reconhecimento do uso e cobertura da terra e suas mudanças ao longo do tempo em função da alteração da cobertura vegetal, visto que estas sequestram e liberam à atmosfera diferentes quantidades de carbono (SANQUETTA et al., 2004). Conhecer, assim, o efeito da substituição de cenários naturais por reflorestamentos ou florestamentos de maciços florestais homogêneos na sua escala temporal é importante não só para os instantes de início das práticas de manejo, mas também para conhecer o balanço de carbono nos diferentes compartimentos da vegetação. Deste modo, as investigações se tornam importantes para a garantia da produção em longo prazo e também para a definição de diretrizes para o manejo florestal ecologicamente correto, visando à mitigação das mudanças climáticas com a busca de qualidade ambiental para as presentes e futuras gerações.

O presente estudo fundamenta-se na hipótese de que o carbono no solo, na serapilheira e na vegetação altera-se quando da conversão de áreas de campo em

plantações de eucalipto, independente de sua idade, bem como as possíveis alterações das propriedades físicas do solo nestas plantações de eucalipto.

Por conseguinte, têm-se os objetivos do estudo como:

Geral: conhecer as mudanças do estoque de carbono em florestas de eucalipto, de diferentes idades, implantadas sobre campo nativo em Argissolo Vermelho distrófico úmbrico, no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Específicos:

- a) Avaliar o estoque de carbono na biomassa arbórea em plantações de eucalipto de diferentes idades;
- b) Avaliar o estoque de carbono na serapilheira em plantações de eucalipto de diferentes idades;
- c) Avaliar o carbono no solo em plantações de eucalipto de diferentes idades implantadas sobre campo nativo;
- d) Identificar em uma seqüência de idades do cultivo de eucalipto, qual a fração da matéria orgânica do solo mais sensível a alterações;
- e) Avaliar as características físicas do solo associadas ao cultivo de eucalipto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Efeito estufa e mudanças climáticas

A camada atmosférica é formada por diversos gases, em especial o CO₂, CH₄ e N₂O, atuando na oscilação de temperatura no globo devido à absorção de energia luminosa ou calorífica refletida pela terra (CHANG, 2004). É uma espécie de protetor durante o dia e cobertor durante a noite (BALBINOT et al., 2003), controlando o aquecimento ou o resfriamento global. Sem a presença do CO₂, outros gases e também o vapor de água, a temperatura da Terra seria 33^o C mais fria que atualmente (SANTOS, 1999). Porém, segundo Costa; Zanatta; Bayer (2008), o CO₂ permite que a temperatura média da terra seja em torno de 15^o C.

Apesar dos gases serem importantes a este efeito, em grandes quantidades pode gerar efeitos adversos. Destes gases, o CO₂ é o maior vilão, respondendo por 80% do aquecimento global de causa antrópica considerando-se a destruição das florestas e a queima de combustíveis fósseis (NABUURS; MOHREN, 1995; WATZLAWICK et al., 2004b), sendo que este último responde com 5,5 Pg ano⁻¹ de carbono (1 Pg = 0,92x10⁻³ gm⁻³) somado aos 1,6 Pg ano⁻¹ de carbono proveniente da mudança de uso da terra (LAL; KIMBLE; FOLLET, 1998). Na atmosfera, sua concentração tem aumentado após a Revolução Industrial em 1850, de 280 ppmv, em 1750, para 367 ppmv, em 1999, ou seja, uma taxa de 1,5 ppmv ano⁻¹ ou 3,3 Pg ano⁻¹ de carbono (LAL, 2004).

Nesta preocupação, surgiu o Painel Inter-Governamental de Mudanças Climáticas formado por diversos países que sancionaram a Declaração de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa regida pelo Protocolo de Kyoto. O protocolo propõe que os países com maior emissão reduzam suas emissões de CO₂, CH₄ e N₂O em torno de 5,2 % (ano base 1990 para CO₂ e 1995 para os demais gases) no período de 2008 a 2012. É uma espécie de comércio de carbono de modo que cada tonelada de CO₂ que deixa de ser emitida à atmosfera é negociada através do incentivo à implantação de projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), dentre os quais se destacam o uso e o manejo das terras e especialmente o florestamento e reflorestamento. As atividades florestais para VITAL (2007) só foram

elegíveis como MDL na Convenção de Milão, em 2003, que instituiu o Uso das Terras e Florestas (LULUCF), sendo criado o documento conhecido como “Draft-Decision-CP9” apresentando as condições para que esta atividade fosse elegível à geração de carbono no âmbito do MDL. Nesta realidade, surgiram os créditos de carbono, os quais são conhecidos como valores mobiliários comercializados sob a denominação de Certificado de Redução de Emissões (CRE) efetuado entre os países emissores e não emissores, caracterizando o chamado mercado de carbono.

Este mecanismo é o instrumento regulatório entre países com o intuito de compensar as emissões destes gases, através da certificação de projetos que objetivem atingir tais metas (SBS, 2006). O Brasil tem a grande maioria dos seus projetos, especialmente na área industrial, energética renovável e tratamento e manejo de resíduos. A importância do uso de reflorestamentos no Brasil com esta finalidade está na certeza de que as florestas são um recurso natural renovável, que capturam CO_2 e liberam O_2 , sendo que as florestas de eucalipto capturam em média de $9,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de carbono e as de pinus em torno de $7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (SBS, 2006). Watzlawick et al. (2004b) argumentam que o aumento de produtividade energética e/ou alimentar gera o acúmulo de 3 bilhões de Mg ano^{-1} de carbono na atmosfera. Projetando os cenários de crescimento populacional e econômico, Roscoe (2003) previu que as emissões de carbono poderiam alcançar um total de $12,2 \text{ Gt ano}^{-1}$ em 2025 e de $20,3 \text{ Gt ano}^{-1}$ em 2100, condições preocupantes à estabilidade climática bem como à qualidade ambiental.

2.2 Ciclo do carbono: vegetação, solo e matéria orgânica

O carbono é o elemento constituinte de todos os seres vivos que habitam o planeta. Em um ciclo dinâmico entre os compartimentos terrestres, marítimos e atmosféricos, o carbono pode ser considerado um indicador da qualidade do solo. Esta relevância deve-se ao fato de a qualidade do solo ser a base piramidal na produção sustentada e equilibrada de uma cultura, agrícola ou florestal. A sustentação desta pirâmide é concebida pela qualidade e integridade da matéria orgânica, regulada pelas propriedades, químicas e biológicas dos solos.

As possíveis modificações, principalmente no declínio do carbono e dos nutrientes no solo, são advindos de uma cultura produtivista desestruturada que gera uma deterioração do complexo químico-biológico em função da desestruturação da condição física mais importante na qualidade do solo, a estrutura do solo. Mielniczuk (2008) acredita que a melhor definição para qualidade do solo é conceituada por Doran; Parkin (1994), como “*capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face terra*”. Esta qualidade está ameaçada pela rápida degradação dos solos sob exploração, especialmente a agrícola, despertando a preocupação com a produção sustentada de alimentos, bem como a preservação do meio ambiente e a saúde do solo. Ainda para Mielniczuk (2008), monitorar a qualidade do solo é medir atributos físicos, químicos e biológicos sensíveis ao manejo e de fácil mensuração como a matéria orgânica do solo e o carbono orgânico como precaução a degradação ambiental. Segundo Vezzani et al. (2008), a qualidade ou saúde do solo também pode ser expressa como a “*capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado*.”, pois, com a diminuição do estoque de matéria orgânica em função das altas taxas de mineralização e menor adição de resíduos, promove-se uma maior emissão de CO₂ à atmosfera e o desencadeamento de um processo de degradação na esfera física, química e biológica. Toda esta qualidade é advinda da importância da matéria orgânica, por meio de compostos orgânicos, em reter energia na forma de carbono, com implicações nas esferas ambientais como ar, água e a biodiversidade, e especialmente a biota do solo.

Assim, toda a visão de qualidade em solo, crescimento das culturas e produção de material orgânico, pode e deve ser estendida a qualquer ambiente nativo que, por motivos de força antropogênica insustentável, venha a dismantelar o equilíbrio do ecossistema quando se busca atender aos objetivos de uma cadeia de produção sustentável aos seres humanos.

O ciclo do carbono é regulado por processos de alta complexidade, sendo que a alteração de suas quantidades tem efeitos no clima em uma escala de tempo (LAL, 2001a). Do total de carbono presente na terra, 99,95 % está na forma inorgânica e 0,05 % na forma orgânica, sendo que, deste último, 2/3 estão na forma de turfa, gás ou petróleo e 1/3 na matéria orgânica do solo, na água e na biomassa viva (BOINA, 2008). Os principais reservatórios de carbono são os oceanos (38000 Pg), a atmosfera (730 a 750 Pg) e os ecossistemas terrestres, dentre estes, o solo

(1500 Pg), a vegetação (500 a 600 Pg) e os combustíveis fósseis (5000 Pg) apresentados por Prentice et al. (2001); Brady; Weil (1999) apud Olszewski et al. (2007). Lal (2004) referencia estes cinco compartimentos globais de carbono como compartimentos inter-relacionados (oceânico, geológico, atmosférico, pedológico e a biota), destacando que o carbono atua em outros inúmeros benefícios como filtro de poluentes químicos, reator na biodegradação de poluentes, etc.

Portanto, no ambiente solo-atmosfera-biota, ele pode ocorrer na forma de gás (CO_2 e CH_4), complexado ou na biomassa viva. Exemplificar este ciclo nada mais é que descrevê-lo em seus compartimentos de entrada (vegetação e serapilheira) e nos seus compartimentos de saída para atmosfera. Neste último caso, registram-se a decomposição dos resíduos em razão da respiração dos microorganismos em condições aeróbicas ou anaeróbicas influenciadas em maior ou menor grau pela recalcitrância do material (WAGNER; WOLF, 1998) bem como das condições do meio como a umidade, a temperatura, a aeração, etc.

2.2.1 Vegetação

Entre os compartimentos de carbono, destaca-se a vegetação (Brady; Weil, 2002). Por meio do processo fotossintético, o carbono é fixado formando compostos orgânicos e servindo como uma moeda energética ao processo de respiração das plantas, gerando o retorno do carbono, especialmente na forma de CO_2 , à atmosfera. Portanto, a única fonte de carbono do ar fixada e incorporada nos tecidos das plantas por meio da fotossíntese é o CO_2 , sendo este eliminado para a atmosfera por meio da decomposição do material vegetal (BOINA, 2008) e pela respiração dos vegetais e animais (SANTOS, 1999; PAUL; CLARK, 1996). Assim, a fotossíntese nada mais é que um processo físico-químico de transformação de produtos inorgânicos em carboidratos. Nos cloroplastos, a energia do sol é absorvida promovendo o rompimento das ligações químicas da molécula da água obtendo hidrogênio e oxigênio, e transformando o dióxido de carbono em açúcar ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). O processo inverso é a respiração de modo que a energia da molécula de açúcar em presença de oxigênio (O_2) produz em dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e energia (SCARPINELLA, 2002). De acordo com Johnson; Henderson (1995)

é fixado em torno de 120 Pg ano^{-1} de carbono nas plantas, sendo que, para Johnson (1995), as plantas, por respiração, liberam 40 a 60 Pg carbono e, pela decomposição dos resíduos, em torno de 50 a 60 Pg carbono.

Este material vegetal é futuramente adicionado ao solo pela serapilheira e decomposição de raízes (BRADY; WEIL, 2002). Parte do carbono presente no material que atinge o solo passa a fazer parte dos constituintes no solo, principalmente na formação de compostos orgânicos e tecidos da comunidade biológica servindo como “moeda energética” para seus processos vitais essenciais ao ciclo de vida. Outra parte deste retorna à atmosfera pela respiração dos vegetais e dos organismos do solo. Como produto deste metabolismo, tem-se alguns compostos orgânicos estáveis por décadas e até séculos como o ácido carbônico (H_2CO_3), carbonatos e bicarbonatos de cálcio, potássio, magnésio, entre outros. Também para Paul; Clark (1996), parte do carbono das plantas fica armazenado no solo e outra parte é devolvida à atmosfera pela respiração dos organismos por meio da decomposição do material orgânico. Disto destaca-se a vegetação, de fato significativa neste reservatório, especialmente a biomassa madeireira, que armazena 75% do carbono das plantas. O armazenamento é dependente do estágio de sucessão, idade, regime de manejo e composição de espécies (WATZLAWICK et al., 2004a), indicando, assim, que esta quantidade de carbono nos compartimentos florestais deve ser mensurada no perfil do solo e na biomassa aérea e subterrânea, viva ou morta (GOUVEIA; ÂNGELO, 2002).

2.2.1.1 Biomassa florestal

O ecossistema florestal como um todo funciona pelo fluxo da energia e pela reciclagem contínua de materiais em função da relação entre os organismos e o ambiente (RICKELFS, 1996). É um sistema aberto de forma que seu equilíbrio é afetado por alterações nas condições do ambiente, ou seja, poluição, mudanças climáticas e alterações na dinâmica do solo (GOMES; VARRIALE, 2001).

A perda de 20 a 30 % das áreas florestais já contribuiu para 45% no aumento do CO_2 na atmosfera desde 1850, intensificando-se a partir de 1990. Apesar das intensas emissões de carbono pela queima de combustíveis fósseis, a diminuição das áreas florestais de fato tem contribuído para este desbalanceamento indicando

que o manejo florestal, com práticas de prevenção ao desmatamento e à condução do crescimento das árvores, tem potencial nesta dinâmica dado a assimilação do carbono nos diferentes compartimentos como galhos, folhas, raízes, serapilheira, etc. (MALHI; MEIR; BROWN, 2002).

Segundo Sanquetta (2002), referindo-se a diferentes autores, conceitua o termo biomassa florestal como a totalidade de organismos ou massa vegetal presente no ambiente florestal. Mais especificamente, o termo biomassa, retratado por este autor, é amplo em virtude da amplitude literária associada a esta terminologia e a este ramo da ciência, indicando que o termo se refere ao material biológico morto ou vivo, animal ou vegetal. A adição do termo “florestal” restringe o conceito à aferição apenas ao material vegetal presente na floresta ou apenas no compartimento arbóreo.

Estudar a biomassa florestal está tanto relacionado à dinâmica da ciclagem nutricional, finalidade energética, quanto ao fato de, servir de base nos estudos de seqüestro de carbono, exposto por Brady; Weil (2002) em que os tecidos de plantas são as fontes originais de carbono, sendo que, em pastagens ou campo, esta fonte importante provém da produção de biomassa radicular quando comparado a sistemas florestais. É um parâmetro com bom referencial à produtividade por ser uma consequência de todos os fatores (bióticos e abióticos) que permeiam o ecossistema florestal, como idade do povoamento, variabilidade genética, nutrição, precipitação, temperatura, altitude e latitude e os tratos silviculturais (SILVEIRA et al., 2008). Desta maneira, Schneider; Schneider (2008), estudando o assunto, expõe que as árvores, em seus compartimentos (folhas, galhos, madeira, casca, etc), resíduos florestais e solo, armazenam uma importante quantidade de carbono e estas quantidades são diferentes para cada um destes compartimentos. Sampson (1995) garante que o carbono estocado nas florestas jovens ocorre em diferentes taxas ao longo do tempo, dependente das características da espécie, qualidade do sítio, tipo de solo e clima bem como das condições de sítio antes da implantação do povoamento. Nesta mesma idéia, florestas com maiores períodos, ou seja, um prolongamento do período de rotação, sem intervenções ou distúrbios, sofre menos com alterações da matéria orgânica e do solo, mantendo o saldo positivo de carbono no sistema.

A importância das florestas nesta perspectiva é devido aos mecanismos de fotossíntese, respiração e decomposição da matéria orgânica (NABUURS;

MOHREN, 1995). Segundo Malhi; Meir; Brown (2002), o carbono na floresta é acumulado na biomassa viva acima e abaixo do solo (folhas, galhos e raízes) e na necromassa (serapilheira e a matéria orgânica). Nisto, podem-se diferenciar os tecidos pouco duráveis, como as folhas e casca, e os duráveis, como a madeira, indicando que os primeiros possuem compostos com simples moléculas de fácil decomposição, ao contrário da madeira, constituída de celulose e lignina, de difícil degradabilidade (NUTTO et al., 2002).

A concentração de CO₂ na atmosfera na ordem de 0,5 a 1 % estimula o crescimento das plantas, mas elevadas quantidades podem gerar fechamento de estômatos e sua menor absorção reduzindo a perda de água (LELES; OLIVEIRA NETO; SILVA, 1994), diminuindo a absorção de nutrientes, alterando o crescimento das plantas (METHERELL et al., 1993). Para Malhi; Meir; Brown (2002), o crescimento das árvores é aumentando de 10 a 70 % com a duplicação de CO₂ na atmosfera, aumentando a produção de biomassa e possivelmente aumentando as reservas de carbono no solo.

À medida que as árvores envelhecem, diminui-se a quantidade assimilada de CO₂ em relação à fase jovem. Laclau; Bouillet; Ranger (2000), relacionando a produção de biomassa em uma cronossequência de florestas de *Eucalyptus* no Congo, observaram variações na produção de biomassa para os diferentes compartimentos nos primeiros anos de crescimento das florestas. O compartimento folhas teve um incremento importante nos primeiros anos, decrescendo a partir do segundo ano, em função da possível competição por luz. Para os galhos, o incremento foi menor do segundo para o quarto ano; para a madeira, a proporcionalidade em relação à biomassa aérea passou de 35 % no primeiro ano para 80 % no quarto ano, podendo essa variação ser atribuída à transitoriedade da fase juvenil para a fase madura.

Malhi; Baldocchi; Jarvis (1999) estudaram diferentes cenários como florestas tropicais, boreais (*Pinus*, *Larix*, *Abies* etc) e temperadas (*Acer*, *Fagus*, *Quercus*, *Pinus* e *Eucalyptus*), condições climáticas e intervenções antrópicas sobre o estoque de carbono no sistema. Estes autores consideram que as florestas tropicais armazenam mais carbono no material acima do solo (217 Mg ha⁻¹) quando comparado às temperadas (79 Mg ha⁻¹) e boreais (49 Mg ha⁻¹), sendo que, em todas as florestas, os maiores estoques estão na madeira (caule), seguido dos galhos e em menor expressão nas folhas. Considerando o solo, o maior estoque total foi para

as florestais boreais (409 Mg ha⁻¹), ficando em último no ranking as florestas temperadas (62 Mg ha⁻¹).

A estimativa do carbono nas florestas pode ser aferida pela metodologia de determinação em laboratório ou por uma metodologia mais rápida, resultado do produto da biomassa seca por um fator de concentração de carbono presente nesta massa seca. Specht; West (2003) garantem que a estimativa de carbono em uma floresta pode ser obtida pelo conhecimento da quantidade de material vegetal assumindo que uma proporção desta é carbono.

Para Chapin et al. (2006), a massa seca de todo material vivo (animais e vegetais) e orgânico é constituída de 50 % de carbono. Já, independente do compartimento arbóreo, Lopes; Aranha (2006) sugerem para *E. globulus* um valor médio de carbono em torno de 0,422 ou considerando um valor específico para cada compartimento (folha de 0,497; galhos de 0,491 e tronco de 0,404). Schneider; Schneider (2008), apresentando dados de Schumacher et al (2001) e Barichello et al. (2003), indicam um valor médio total (madeira + casca + folhas + galhos + raízes + serrapilheira) da concentração de carbono diferenciado nas diferentes idades de uma floresta de *Acacia mearnsii* De Wild, variando de 0,35 para florestas com 4 anos e de 0,40 para florestas com 6 e 8 anos. Considerando a mesma espécie florestal, as mesmas idades e os mesmos compartimentos, os autores ainda citam a analogia de variação encontrando valores de 0,28 (serapilheira) a 0,40 (madeira) aos 4 anos, de 0,34 (serapilheira) a 0,45 (folhas) aos 6 anos e ainda de 0,35 (serapilheira) a 0,40 (galhos) aos 8 anos. Christie; Scholes (1995) indicam um valor médio de 0,5, mais utilizado na estimativa do conteúdo de carbono nos tecidos de plantas, estudando plantações de eucaliptos e pinus.

2.2.2 Solo e matéria orgânica

O solo é o maior reservatório de carbono da biosfera, através da matéria orgânica, fundamental no equilíbrio do seu ciclo na terra (MEURER, 2000). Este incremento de carbono no solo tem efeitos sobre a qualidade do solo e provavelmente sobre a capacidade de regulação deste compartimento, que são bases estratégicas do manejo sustentável, em virtude de que a pedosfera é

resultado do suporte de todas as atividades envolvidas na atmosfera, litosfera, biosfera e hidrosfera (LAL; KIMBLE; FOLLET, 1998). Esta importância não é diferente em ambientes florestais, influenciado pelo manejo dos locais (LAL, 2001c). Este elemento sofre modificações no solo devido às alterações de uso da terra como o desmatamento para uso agrícola ou pastagem (KRUG, 2004), indicando que o mínimo revolvimento do solo, além de conservar as características físicas, recupera os estoques de carbono no solo (MIELNICZUK et al., 2003).

O solo é resultado da interação do material de origem, clima, relevo, tempo e organismos, garantindo o crescimento das plantas (RAIJ, 1991). Resultado da alteração de rochas e corpos naturais, sendo local de desenvolvimento de plantas e decomposição de resíduos (MEURER, 2000) e moradia de uma rica comunidade biológica ativa. Composto da fase sólida (45 % do volume é composto da parte mineral e 5 % de material orgânico), da fase líquida (30 a 35 % correspondendo à água, minerais dissolvidos e compostos orgânicos) e da fase gasosa (em torno de 15 a 20 % sendo ocupado por ar e gases). A fase sólida é formada pela combinação das frações de areia, silte e argila. A fase líquida é caracterizada pela água (solução do solo), contendo os íons importantes para absorção pelas plantas. A fase gasosa é ditada pelo conteúdo de poros, construído a partir do arranjo das partículas sólidas do solo, transportando ar, gases (CO_2 , O_2 , N_2 e NH_3), além do vapor de água. É nesta fase que ocorre, pela respiração das raízes, a liberação do CO_2 para a atmosfera. Com o aumento da profundidade do solo, ocorre a diminuição da respiração das raízes e a atividade biológica ocasionando a diminuição da concentração de CO_2 e também de O_2 . Admite-se que a fração de CO_2 no ar do solo é maior em 0,03 % comparada à da atmosfera, mas o crescimento de muitas plantas pode ser prejudicado se este valor exceder 5 %, sendo admitido 10 % como limite crítico superior (PREVEDELO, 1996).

O solo em profundidade possui um estoque total de carbono estimado na ordem de 2300 Pg, sendo que 1550 Pg constituem o carbono orgânico, e 750 Pg o carbono inorgânico (LAL, 2001b). Para Mello (2007), o carbono orgânico é advindo da exsudação de substâncias do tecido vivo vegetal ou da decomposição do material sobre o solo a partir de material produzido na fotossíntese. Por sua vez, o carbono inorgânico é aquele originário das rochas de origem, como as calcárias. O carbono inorgânico ainda se apresenta na forma de carbonato e bicarbonato (CALDEIRA et al., 2002).

A entrada de carbono orgânico no solo é dependente da decomposição de material acima e abaixo do solo (BALBINOT et al., 2003), regida pela produção vegetal, deposição de resíduos ou material orgânico, pela humificação, etc. (LAL; KIMBLE; FOLLET, 1998; LEITE et al., 2003), sendo que a saída ocorre por processos erosivos e decomposição da matéria orgânica (LAL; KIMBLE; FOLLET, 1998), alterando as quantidades de carbono estocado (CERRI et al., 2002). A taxa de carbono presente no solo é determinada pela quantidade e pela qualidade do material vegetal adicionado os quais são influenciadas pela interação com o clima, tipo de solo, principalmente em ambientes nativos, e uso/manejo em ambientes agrícolas. Para Malhi; Meir; Brown (2002), os solos possuem 75 % de todo o carbono do ecossistema terrestre, destacando as florestas e as savanas comparadas a outros ecossistemas que tendem a manter pouco carbono na superfície, com estoques variando de 100 a 225 Pg C. Comparando os diferentes sistemas florestais, o carbono no solo aumenta dos trópicos em sentido às regiões temperadas. Considerando um perfil de solo, a distribuição é variada, apresentando menores quantidades na superfície, desde florestas tropicais a florestas temperadas (CALDEIRA et al., 2002). Os solos de campos e florestas temperadas armazenam 189 e 134 Mg ha⁻¹ de carbono, tendo um tempo de ciclagem de 61 e 29 anos, respectivamente, contrastando aos valores dos ambientes tropicais, cujo tempo é menor (PAUL; CLARK, 1996).

O carbono do solo em ecossistemas nativos se encontra estável quando da intervenção antrópica, resultando em uma perda deste carbono ao longo do tempo, e conseqüentemente da qualidade do solo. A quantidade de carbono armazenada depende, segundo Paul; Clark (1996), da adição dos resíduos de plantas em virtude das diferentes concentrações de proteínas, hemiceluloses, celulose e lignina, das diferentes espécies e dos diferentes componentes das plantas (madeira, folhas, sementes, etc.).

No princípio geral de qualidade pedosférica, as intervenções provocadas no solo podem, em maior ou menor grau, em função do tipo de solo, afetar o ciclo do carbono. Além destes, podem-se citar aqueles associados ao ambiente, como temperatura e umidade. Craswell; Lefroy (2001), estudando a função, o efeito, a dinâmica e as mudanças da matéria orgânica nos trópicos, perceberam que a quantidade e a dinâmica do carbono no solo são de fato dependentes do clima, manejo e principalmente do tipo solo o que explica as diferentes quantidades de

carbono entre solos de regiões tropicais e temperadas. Considerando as condições climáticas, o estoque de carbono em campo ou pastagem nativa e floresta decresce com o aumento da temperatura média anual e aumenta com o aumento da precipitação (WANG et al., 2004). Portanto, a intrínseca relação entre os processos químicos, físicos e biológicos dos solos indica a importância na sustentabilidade do ambiente. Esta desestabilização e diminuição de carbono no solo advindas do cultivo foram confirmadas por Johnson (1992), comparando 625 perfis de solo de florestas e pradarias pela revisão envolvendo 50 estudos. Assim, Caldeira et al. (2002) enfatizam que monitorar as alterações do solo devido ao seu uso e manejo são importantes em função deste corpo ser dinâmico, influenciando a sustentabilidade e a produtividade dos sistemas.

A degradação dos solos tem efeitos no balanço nutricional das florestas com déficits de nitrogênio, fósforo, cálcio, entre outros, e alteração do conteúdo de água. Isto reafirma a importância no manejo da fertilidade do solo tanto para a produção como para a armazenagem de carbono (LAL, 2001c). É evidente que a capacidade do solo em reter o carbono é dependente do conteúdo de argila, tipo de argilominerais e da habilidade em formar complexos organominerais (KÖRSCHENS, 1996). Nutto et al. (2002) enfatizam que o cultivo do solo, com o corte da floresta, proporciona uma perda de 25 % do carbono do solo para a atmosfera considerando um metro de profundidade.

Specht; West (2003) encontraram um declínio para o carbono orgânico do solo alguns anos após a introdução das florestas em locais nativos (campo ou mata), sendo que, após 20 a 40 anos de idade das plantações, esta quantidade pode se restabelecer, aumentar ou até diminuir, dependendo do manejo do sítio. Nilsson; Schopfhauser (1995) encontraram que a diminuição do carbono nos solos florestais está mais associada à alteração de uso do solo e que esta diminuição ocorre no primeiro ano afetando principalmente até 0,40 m de profundidade. Estes autores consideram ainda que, apesar de os reflorestamentos tanto no compartimento acima ou abaixo do solo atuarem positivamente no seqüestro do carbono, as plantações em larga escala são improváveis para a manutenção estável deste carbono no solo. Wang et al. (2004), estudando os primeiros 0,0-0,2 m do solo de campo ou pastagem nativa e florestas, encontraram em torno de 40 % do estoque total de carbono quando avaliado até um metro de profundidade, sendo que as florestas apresentam os mais expressivos estoques totais.

Já para a caracterização da matéria orgânica do solo encontram-se inúmeros conceitos literários com abordagens similares, nas quais a integridade de algumas destas conceituações são destacadas neste trabalho em referência aos seus respectivos autores.

Matéria orgânica do solo, portanto, nada mais é que o resultado no acúmulo de resíduos vegetais e animais (SILVA; RESCK, 1997) ou células vivas ou mortas, tecidos microbianos e substâncias sintetizadas pela população do solo (CAMPBELL, 1978). Nisto destaca-se a serapilheira, material orgânico mais dinâmico e mais variável entre e dentro dos ecossistemas reguladas devido à produção de fitomassa, da fase de desenvolvimento das plantas, etc. (CORREIA; ANDRADE, 2008). A matéria orgânica é formada por carbono, oxigênio, hidrogênio e nitrogênio (SILVA; RESCK, 1997), além do fósforo, hidrogênio, magnésio, cálcio, enxofre e alguns microelementos formando os carboidratos, ligninas, proteínas e resinas (SOPHER; BAIRD, 1982), e muitas vitaminas, aminoácidos, auxinas e giberelinas (BRADY; WEIL, 2002). Além disso, está presente em vários estágios de decomposição (CAMPBELL, 1978), distinguíveis ou não (JOHNSON, 1995). É formada por 58 % de carbono, podendo ser orgânico ou inorgânico, juntamente com os carbonatos secundários originados do processo de decomposição (LAL, 2001a). A matéria orgânica do solo pode ser dividida em fração viva, composta de organismos vivos e de raízes, além da fração morta, dividida em matéria macroorgânica (vários estágios de decomposição) e o húmus correspondendo a 80-90 % deste material (MIRANDA, 2005).

O húmus é o produto final da decomposição conhecido como a forma estável e recalcitrante da matéria orgânica do solo (JOHNSON, 1995), constituído de uma complexa mistura de unidades fenólicas, polissacarídeos e proteínas (WAGNER; WOLF, 1998), dependente da composição química e das condições do solo. A estrutura e a estabilidade do húmus estão relacionadas aos fatores de formação do solo (BRUN, 2008), sendo ainda esta estabilidade dada pela formação de complexos de polifenóis-proteína, mantendo estáveis os níveis de matéria orgânica e de carbono (BRADY; WEIL, 2002).

O processo de humificação é a (re)síntese dos produtos da mineralização por uma comunidade biológica (MIRANDA, 2005). Associado à mineralização, em processo simultâneo, constante e oposto, tem-se a conhecida imobilização (adsorção ou retenção nutricional), ocorrendo em condições aeróbicas ou

anaeróbicas (CAMPBELL, 1978). A mineralização é uma forma de saída de material do sistema controlando os níveis de matéria orgânica (SCHOLLES; POWLSON; TIAN, 1997). O material humificado é classificado em frações lábeis e frações estáveis reguladas por taxas de ciclagem. Já para Brady; Weil (2002), o húmus é constituído a partir do compartimento ativo, lento e passivo. O compartimento ativo é formado por materiais com alta relação C/N e rápida decomposição com funções na estabilidade estrutural, infiltração de água, resistência à erosão, etc. Este compartimento aumenta com a adição de resíduos frescos e diminui com o intenso cultivo. O compartimento passivo é constituído de material estável protegido em complexos húmus-argila, como huminas e ácidos húmicos e por fim o compartimento lento, intermediário a estes. Fallon; Smith (2000) afirmam que a formação destas frações é influenciada pelo manejo, textura, estrutura química e inacessibilidade física.

A matéria orgânica atua na proteção do solo evitando o impacto da chuva com menor desagregação das partículas, menor lixiviação, menor erosão e maior infiltração de água (GONÇALVES et al., 2000) atuando no regime hídrico do solo (SWIFT; WOOMER, 1991; KAY, 1998), função importante para um sistema de engenharia conhecido como agregação (KAY, 1998), isto é na estrutura do solo (KONONOVA; NOWAKOWSKI; NEWMANN, 1966). A matéria orgânica melhora as condições de fertilidade (PAUL; CLARK, 1996; KONONOVA; NOWAKOWSKI; NEWMANN, 1966) pelo retorno dos nutrientes às plantas (TIBAU, 1983). Sua quantidade é regulada pelo balanço na produção vegetal e nas taxas de decomposição, sendo estas taxas menores em maior presença de silte e argila (PAUL; CLARK, 1996). Ela ainda garante suporte à atividade biológica do solo. Toda esta dinâmica só é possível devido à interação com a temperatura, a água, a estrutura, a textura, a mineralogia, o pH e a composição química (DUDAL; DECKERS, 1991).

Relacionando os fatores que atuam na acumulação e na estabilidade da matéria orgânica do solo, pode-se citar a temperatura, a precipitação, a vegetação e os distúrbios bem como as propriedades dos solos, principalmente a presença e o tipo de argilas. Sobre as condições químicas do solo, em solos ácidos, o Al^{3+} e o Fe^{3+} podem formar complexos estáveis com a matéria orgânica. Em solos com pH elevado, a presença de cálcio é importante na estabilização da matéria orgânica, pois permite que sua união às argilas do solo (JOHNSON, 1995). Ainda em relação

à fertilidade dos solos e o estoque de carbono, Lal (2001c) garante que a fertilização com nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre geram incremento de carbono do solo no decorrer dos anos pelo cultivo florestal.

Portanto, adotar práticas para sua conservação, conforme Nishi (2005), contribui para o aumento de carbono no solo e na biomassa viva. Para Balesdent; Chenu; Balabane (2000) as alterações do solo, a incorporação do material orgânico e a ruptura da estrutura do solo atuam na dinâmica do material orgânico.

A dinâmica da matéria orgânica pode ser traduzida em formatos numéricos. Sua variação temporal é expressa pela equação: $dC/dt = k_1 * A - k_2 * C$, sendo que A representa a quantidade de carbono sintetizado pela fotossíntese e adicionado ao solo por meio de resíduos, exsudatos radiculares e raízes, o C é o carbono presente na matéria orgânica do solo, k_1 é a quantidade adicionada e efetivamente retida no solo na forma de matéria orgânica, e k_2 a quantidade existente na matéria orgânica do solo, mas que é perdida pela decomposição microbiana, erosão, lixiviação, etc. (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Considerando a proteção da matéria orgânica, Sollins; Homann; Caldwell (1996) argumentam que o seu decréscimo ainda ocorre pela respiração, erosão e menor resistência à degradação. Conforme Vogt et al. (1995), as flutuações da matéria orgânica do solo podem ser positivas, como mudanças entre vegetações similares, mas também flutuações de ordem negativa, com as intensas práticas inadequadas de manejo. Em relação ao uso do solo, Costa-Lima et al. (1995) encontraram que a quantidade de carbono diminui quando se substitui o campo por povoamento de *Pinus*, que volta a aumentar com o desenvolvimento do povoamento. Este povoamento possui um estoque de carbono de $16,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ na camada 0-10 cm do solo, reduzindo-se nas camadas inferiores.

Em função da dificuldade de caracterização, do alto grau de alteração e da dinâmica, é complexo o estudo da matéria orgânica (MEURER, 2000), em virtude da inter-relação destes elementos tanto na sua liberação e disponibilização às plantas quanto no acúmulo e fluxo no solo e na interface com a atmosfera.

2.3 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

A degradação dos solos é desencadeada pela alteração de um conjunto heterogêneo de materiais orgânicos (ROSCOE; MACHADO, 2002), composto de material orgânico decomposto ou parcialmente decomposto, biomassa viva e o material humificado associado à fração mineral do solo, conhecido como matéria orgânica do solo (GUERRA; SANTOS, 2008). O conjunto de atributos químicos, físicos e biológicos pode indicar a qualidade do solo, sendo um deles, o carbono, o qual é altamente sensível pela alteração de uso do solo. Assim, a estabilidade da matéria orgânica, conjuntamente com a estrutura, são fatores importantes na sua dinâmica, pois a estabilidade é um efeito integrado da recalcitrância molecular, da proteção química e física (BOENI, 2007).

Conforme Diekow (2003), o material orgânico pode ser conhecido por critérios de localização (particulada, associada a minerais, dissolvida e biomassa viva), composição química (caracterização de biomoléculas e substâncias húmicas) e estabilidade (estrutural, metabólico, ativo, lento e passivo). Para Roscoe; Machado (2002), este material pode estar livre, fracamente ou fortemente associado as partículas do solo, formando complexos organominerais (primários ou secundários). O agrupamento dos complexos primários forma os agregados chamados de complexos secundários, que podem reter parte da matéria orgânica fracamente associada na superfície dos agregados (livre) ou em seu interior (oclusa).

O arranjo tridimensional pelo contato das partículas minerais, resíduos de plantas e mucilagens resulta nos macro e microagregados (GOLCHIN; BALDOCK; OADES, 1998), interagindo com a argila do solo e aprisionando as substâncias orgânicas, diminuindo sua biodegradação (HASSINK; WHITMORE, 1997), ou seja, menor acesso à comunidade biológica (CHRISTENSEN, 2001).

O estudo da matéria orgânica envolve métodos de separação para a caracterização química ou física (DEMOLINARI et al., 2008), sendo esta última aparentemente menos destrutiva (ROSCOE; MACHADO, 2002). Estes processos são importantes, conforme Lima (2004), para o reconhecimento da dinâmica do carbono na matéria orgânica e na sustentabilidade dos ecossistemas. Para Sollins; Homann; Caldwell (1996), em torno de 90 % da superfície das argilas é inacessível aos microrganismos.

O fracionamento físico, para Six et al. (2002), permite validar os compartimentos de carbono sensíveis ao manejo, ao uso e ao clima. Além disso, permite conhecer as interações e associações entre os componentes (in)orgânicos do solo e sua variação espaço-temporal com os componentes minerais do solo (CHRISTENSEN, 2001). O fracionamento físico pode ser classificado em granulométrico por dois princípios (MACHADO, 2002; ROSCOE; MACHADO, 2002; GUERRA; SANTOS, 2008), o princípio do peneiramento (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992), e o princípio densimétrico, o qual utiliza um líquido de densidade conhecida (GOLCHIN et al., 1994). Ainda pode-se realizar o uso combinado destes dois princípios (SIX et al., 1998). Pelo fracionamento densimétrico, a matéria orgânica do solo é reconhecida em fração leve e fração pesada. A fração leve é composta de restos vegetais parcialmente decompostos localizados inter e intra-agregados. A fração pesada é a matéria orgânica em estágio avançado de decomposição, associada à areia, silte e argila, sendo protegida física ou quimicamente (DEMOLINARI et al., 2008). Nisto, destacam-se o tipo e a quantidade de argila que possui a capacidade de estabilizar a matéria orgânica em complexos organominerais (BRADY; WEIL, 2002).

Do fracionamento físico por granulometria, Guerra; Santos (2008) apresentam diferentes metodologias que separam o material em frações de tamanho. Para Roscoe; Machado (2002), neste tipo de fracionamento, pode-se separar, por peneiramento, os agregados de diferentes tamanhos (secundários), ou separar a areia, o silte e a argila em função das classes texturais (primários). Este tipo de fracionamento é apresentado em numerosos trabalhos (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992; BAYER et al., 2002; COSTA et al., 2004; BAYER et al., 2004; BRUN, 2008), obtendo a fração particulada ($> 53 \mu\text{m}$) como a fração associada à areia representada pelo material residual de plantas e hifas reconhecíveis, e a fração associada aos minerais ($< 53 \mu\text{m}$) como a fração resultante da associação da matéria orgânica com o silte e a argila (NICOLOSO, 2005).

A quantidade de material recuperado na fração areia é pouco devido a sua carga superficial (ROSCOE; MACHADO, 2002), ou seja, em função da ausência de qualquer tipo de proteção física, sendo facilmente acessada pelos microrganismos, estando, portanto, correlacionada às taxas de respiração e à biomassa microbiana (JANZEN et al., 1992) diferente do material associado ao silte e à argila (ROSCOE; MACHADO, 2002). A fração particulada é a fração mais lábil do solo (CONCEIÇÃO

et al., 2005), ou seja, a que possui menor proteção e maior sensibilidade a mudanças associadas ao carbono.

Lima (2004) esclarece que as frações têm o seu tempo de decomposição influenciado pelo clima, sistema de manejo, entre outros. Christensen (2001) afirma que as perturbações no solo geram um efeito em cascata na hierarquia deste sistema, afetando toda a matriz tridimensional do solo, enfatizando a importância do entendimento completo do ciclo da matéria orgânica e do carbono em todas as suas esferas hierárquicas.

2.4 Sistema florestal – descrição e histórico

As áreas florestais naturais no mundo cobrem quatro bilhões de hectares, com a Europa e a América do Sul concentrando 50 % deste território (FAO, 2006 apud SBS, 2006). Desta porção, o Brasil apresenta a maior cobertura arbórea tropical da Terra. Da área de 851 milhões de hectares absoluta do território, 477,7 milhões de hectares estão cobertos com florestas naturais (56,1 %), 5,6 milhões de hectares com florestas plantadas (0,7 % do território) e o restante (43,2 %) utilizados com agricultura, pecuária, áreas urbanas, etc. Da área florestal plantada, 3,4 milhões de hectares são utilizados com eucalipto, 1,8 milhões com pinus e o restante com espécies como acácia, araucária, teça, seringueira, dentre outros (SBS, 2006).

Da capacidade produtiva sustentável das florestas, 47,2 % são oriundos de florestas plantadas com pinus e eucalipto. O Rio Grande do Sul foi um dos estados que mais se engajou ao aumento ou expansão das áreas florestais no Brasil, incluindo as áreas de reforma, passando de 35.000 ha em 2005 para 90.000 ha em 2006. Ele apresenta uma área de aproximadamente 183 mil hectares com florestas de eucalipto e 182 mil hectares com florestas de pinus destinados aos produtos madeireiros, indústria de papel e celulose, papel ondulado, pasta, compensados e madeira serrada, siderurgia a carvão vegetal (SBS, 2006).

2.4.1 Gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus*, é um substantivo masculino que, do grego, significa eu + kalyptós = coberto (HASSE, 2006). Pertence à família Myrtaceae, originário da Austrália, possuindo mais de 600 espécies adaptadas às mais diversas condições de clima e solo (SBS, 2006). Introduzido no Brasil em 1825 para uso ornamental e quebra-vento, adquiriu, com o passar dos anos, um cenário expansionista em escala comercial na produção de lenha e carvão. Em função do rápido crescimento, passou a ser utilizado na fabricação de cercas, moirões e matéria-prima para papel, celulose, chapa de fibras, aglomerados e móveis.

Hasse (2006) declara que em 1824 o Jardim Botânico do Rio de Janeiro recebeu duas mudas deste imigrante australiano, sendo que a propagação por sementes tenha iniciado somente em 1830, muito lentamente. Sua liderança só foi conquistada no comércio silvicultural brasileiro em virtude da busca de uma boa espécie produtora de lenha pelo seu patrono, o agrônomo Edmundo Navarro de Andrade para a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, há 100 anos, a fim de manter a matriz energética configurada pela economia das máquinas a vapor. Isto só foi possível pela doação de 150 variedades de eucalipto feitas a Navarro pelo diretor do Jardim Botânico de Sidney, na Austrália. A partir deste momento, a madeira começou a ganhar notoriedade no mercado bem como nas pesquisas no que diz respeito ao seu uso na fabricação de móveis. Na década de 50, passou a ser utilizado na indústria de celulose. No Rio Grande do Sul, ele apareceu só em 1912, implantado por Dorval Azevedo da Silveira, em Palmares do Sul. Estas foram matrizes de produção de sementes de árvores futuras que viriam a acionar a bombas de irrigação e engenhos de secagem de arroz por produtores na região Nordeste do estado. Este gênero garante alta produtividade de madeira em ciclo curto (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993), além da sua importância principalmente no alívio de pressão aos ambientes naturais, recuperação de áreas degradadas, controle de erosão, quebra-ventos, etc. (LIMA, 1996).

As espécies do gênero podem atingir regiões mais ao Norte, de 500 a 1000 metros de altitude. Pode alcançar alturas de 45 a 55 metros de fuste liso e diâmetro à altura do peito em torno de 1,2 a 2 metros (SCARPINELLA, 2002). Segundo SCARPINELLA (2002), a madeira é leve com cerne diferenciado, tendo crescimento

e rendimento em volume muito superiores. A composição da sua madeira é basicamente lignina (25 %), celulose (50 %) e hemicelulose (25 %), sendo que o carbono compreende em torno de 50 % da composição elementar da madeira seca, combinada ao oxigênio (44 %) e ao hidrogênio (6 %) na formação dos compostos anteriormente citados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em povoamentos florestais homogêneos implantados com eucalipto em diferentes idades e campo nativo na Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, unidade FEPAGRO FLORESTAS – Centro de Pesquisas de Recursos Florestais. O Centro de Pesquisa está sob domínio do poder público estadual, sendo vinculado à Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado do Rio Grande do Sul, tendo como objetivo, em uma área total de 542 hectares, a pesquisa florestal e o estudo da conservação de solos. Os critérios para seleção dos povoamentos florestais foram: tipo de solo, posição no relevo, proximidades das áreas mantidas sobre vegetação natural e principalmente a idade das plantações.

3.2 Localização

Situada na localidade de Boca do Monte, município de Santa Maria, região da Depressão Central, no estado do Rio Grande do Sul, nas coordenadas de 54^o 15' de longitude oeste e 29^o 30' de latitude sul, tendo uma altitude entre 90 a 135 metros (Figura 1).

A topografia é predominantemente suave ondulada com elevações alongadas podendo ocorrer declives acentuados, originando as áreas planas ou baixas, onde predominam os cursos de água (ABRÃO et al., 1988).

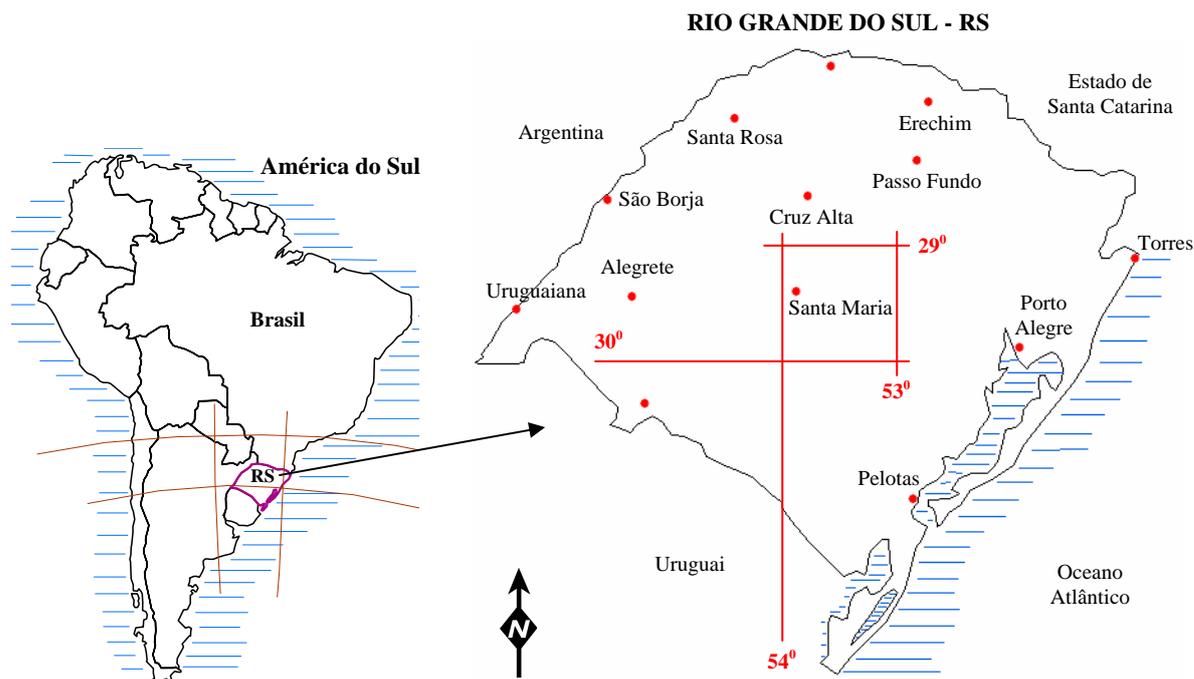


Figura 1 - Localização do estado do Rio Grande do Sul e do município de Santa Maria, RS, Brasil.

3.3 Clima

O clima é classificado como subtropical úmido do tipo Cfa, pela classificação de Köppen, com condições úmidas freqüentes e chuvas bem distribuídas ao longo do ano, verões quentes e invernos com formação de geada (Tabela 1). A temperatura média é 19° C, sendo a do mês mais quente superior a 22° C e a do mês mais frio situando-se entre -3° e 18° C. A precipitação anual é entre 1322 e 1769 mm (MORENO, 1961).

Tabela 1 - Média dos dados climáticos para a região de Santa Maria, RS, Brasil, para o período de 1964 a 2006.

Mês	Precipitação (mm)	T _{máx} (°C)	T _{min} (°C)
Janeiro	152,2	30,6	19,4
Fevereiro	133,8	30,0	19,4
Março	146,9	28,6	18,1
Abril	153,0	25,0	14,9
Mai	131,4	22,1	12,0
Junho	146,9	19,4	9,8
Julho	152,9	19,4	9,7
Agosto	125,1	20,8	10,6
Setembro	156,8	22,0	11,7
Outubro	158,2	24,9	14,2
Novembro	131,3	27,4	16,0
Dezembro	144,6	29,8	18,2

3.4 Solos

O mapa de solos original descrito no levantamento semidetalhado de solos (ABRÃO et al., 1988) foi transpassado para o formato digital por meio de *scanner*, em resolução de 600 dpi. A imagem foi georeferenciada à base cartográfica na projeção UTM (zona 22, datum SAD69) e as classes de solos foram digitalizadas no software ARCGis 9.0 (Figura 2).

O estudo foi realizado na unidade de mapeamento PE1 (PVd1; Figura 2), segundo Abrão et al. (1988), e conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) este é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico e conforme o Soil Survey Staff (1999), classificado como Paleudult. Pertence a unidade de mapeamento São Pedro (BRASIL, 1973). São caracterizados como solos mediamente espessos, não hidromórficos, bem drenados, cor avermelhada, textura superficial franco-arenosa com presença de B textural, sendo pobres em matéria orgânica (STRECK et al., 2008). Esta unidade de mapeamento ocorre em aproximadamente 139,2 ha da área da estação experimental (24,7 %), apresentando horizonte A espesso e o horizonte B com estrutura mais desenvolvida, e com maiores teores de argila. O local é utilizado como área experimental de conservação de solos e com reflorestamento (ABRÃO et al., 1988).

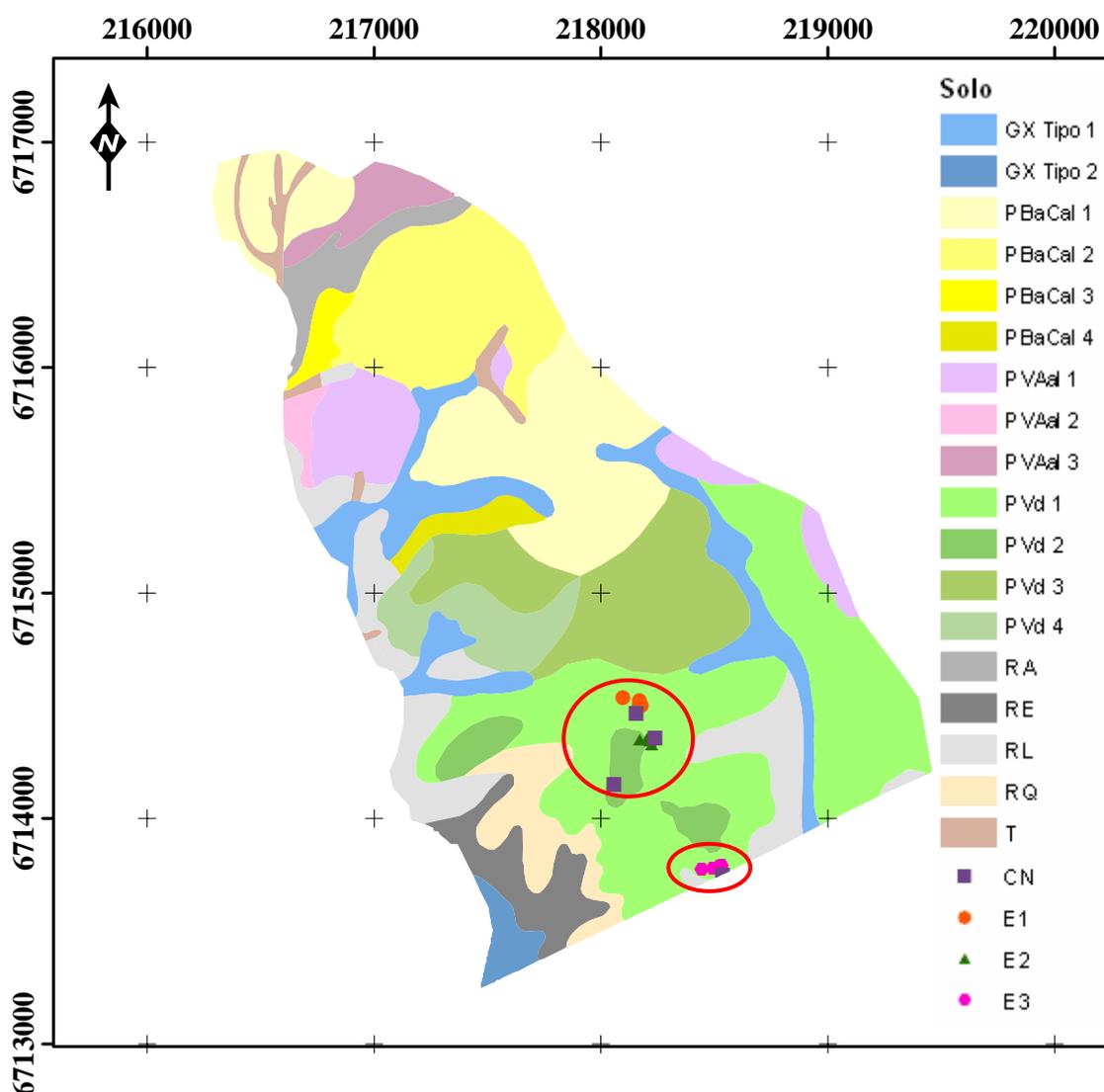


Figura 2 - Solos do Centro de Pesquisas de Recursos Florestais - Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil. (Escala 1:15.000).

PB (PBaCal): Podzólico bruno-acinzentado **PB1 (PBaCal 1):** álico A moderado textura média/argilosa fase suave ondulada; **PB2 (PBaCal 2):** distrófico A proeminente textura média/argilosa e fase ondulada; **PB3 (PBaCal 3):** distrófico A proeminente textura média/argilosa e fase forte ondulada; **PB4 (PBaCal 4):** álico abrupto A moderado textura média/muito argilosa e fase ondulada; **PV (PVAal):** Podzólico vermelho-amarelo; **PV1 (PVAal 1):** Ta álico abrupto A moderado textura arenosa/média e fase suave ondulada; **PV2 (PVAal 2):** Ta álico abrupto A moderado textura arenosa/média e fase forte ondulada; **PV3 (PVAal 3):** Tb álico abrupto A moderado textura arenosa/média e fase suave ondulada; **PE (PVd):** Podzólico Vermelho-escuro Tb distrófico A proeminente; **PE1 (PVd 1):** textura média/argilosa e fase ondulada; **PE2 (PVd 2):** textura média/argilosa e fase suave ondulada; **PE3 (PVd 3):** textura média e fase suave ondulada; **PE4 (PVd 4):** textura média e fase ondulada; **HGP (Gx):** Glei pouco húmico; **HGP1 (Gx Tipo 1):** Tb álico A moderado textura média e fase plana a suave ondulada; **HGP2 (Gx Tipo 2):** Ta eutrófico A moderado textura argilosa/média e fase plana; **AQ1 (RQ):** Areias Quartzosas distróficas epiálicas A moderado e fase ondulada; **A1 (RA):** solo aluvial eutrófico A moderado e fase plana; **R (RL):** solo litólico álico A proeminente textura média; **R1 (RL 1):** fase ondulada e substrato arenito; **R2 (RL 2):** fortemente ondulada e substrato siltito; **RE1 (RE):** Regossolo distrófico endoálico A, proeminente textura arenosa, fase forte ondulada e substrato arenito. **T:** Terreno ravinado; Povoamentos de *E* sp. com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN). Coordenadas Norte (N) e Leste (E) em metros, projeção UTM (zona 22S, datum SAD69).

3.5 Histórico e caracterização da vegetação

A reconstrução do histórico de ocupação e a caracterização da vegetação foram realizadas através de entrevistas com funcionários da instituição bem como com a utilização da técnica da foto-interpretação. Foram utilizadas fontes cartográficas, como a carta topográfica de Santa Maria-SO em escala 1:25.000, Folha SH 22-V-C-IV/1-SO MI-2965/1-SO, elaborada pela Divisão de Serviço Geográfico (DSG) do Exército Brasileiro. Para o acervo fotográfico, utilizaram-se fotos aerofotogramétricas correspondentes aos anos de 1964 (Figura 3), 1988 (Figura 4) e 1996 (Figura 5) na escala de 1:20.000, e, para o ano de 2008 (Figura 6), utilizou-se a imagem do provedor *Google Earth*. As imagens em papel foram convertidas em formato digital utilizando *scanner*, em resolução de 600 dpi, sendo posteriormente georeferenciadas na projeção UTM (zona 22S, datum SAD69), sendo os delineamentos da vegetação vetorizados no software ARCGIS 9.0. Esta representação permitiu descrever os limites de cada vegetação ao longo do relevo, o avanço de recobrimento com florestas, a alteração de uso dos solos, bem como permitir a correta datação dos períodos de plantios dos locais estudados.

De maneira geral, ABRÃO et al. (1988) descrevem que a predominância de campos (50 %) é a tipologia vegetal típica do local com presença de espécies rizomatosas estoloníferas de baixo porte, com ocorrência natural da espécie *Paspalum notatum* Fluegge, e espécies dos gêneros *Axonopus*, *Andropogon*, *Panicum* e *Aristida*. As formações florestais, principalmente nativas, situam-se nas galerias ou margens ao longo do curso de água. Esta tipologia possui predomínio de espécies de porte baixo, como espécies da família *Myrtaceae*, *Anacardiaceae* e *Leguminosae*, sendo que esta vegetação original encontra-se modificada em virtude da introdução de espécies tanto nativas quanto exóticas de porte alto.

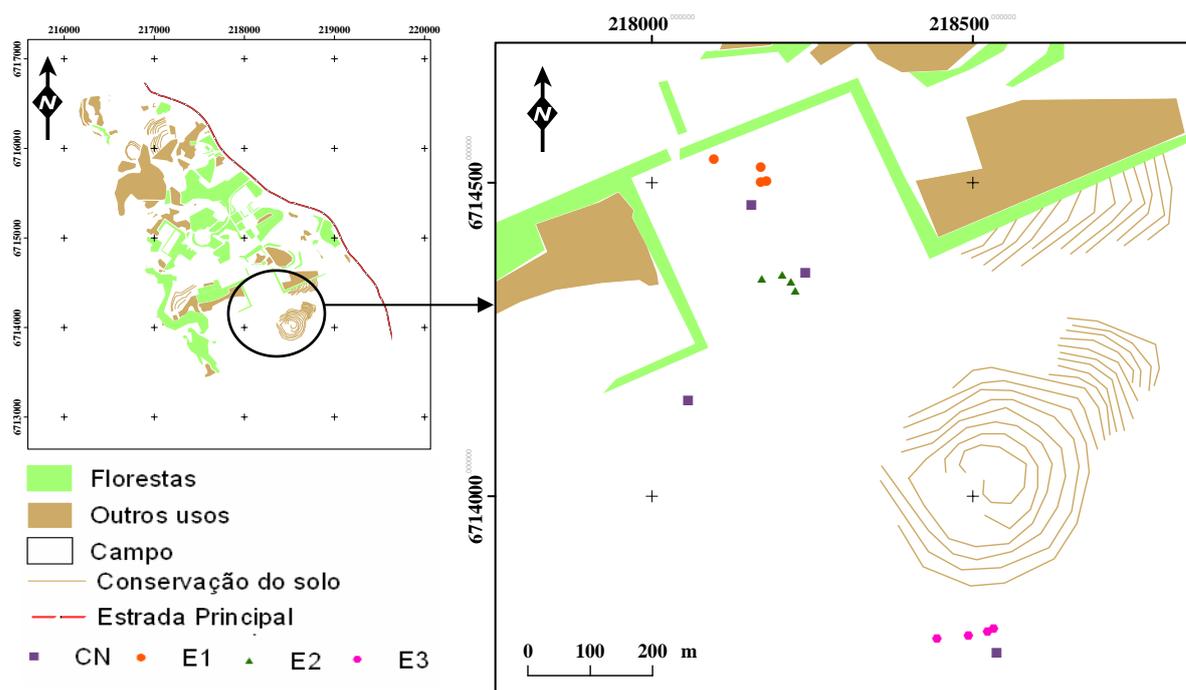


Figura 3 - Ocupação dos solos da Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil, para o ano de 1964. (Escala 1:20.000)

Povoamentos de *E* sp. com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN). Coordenadas Norte (N) e Leste (E) em metros, projeção UTM (zona 22S, datum SAD69).

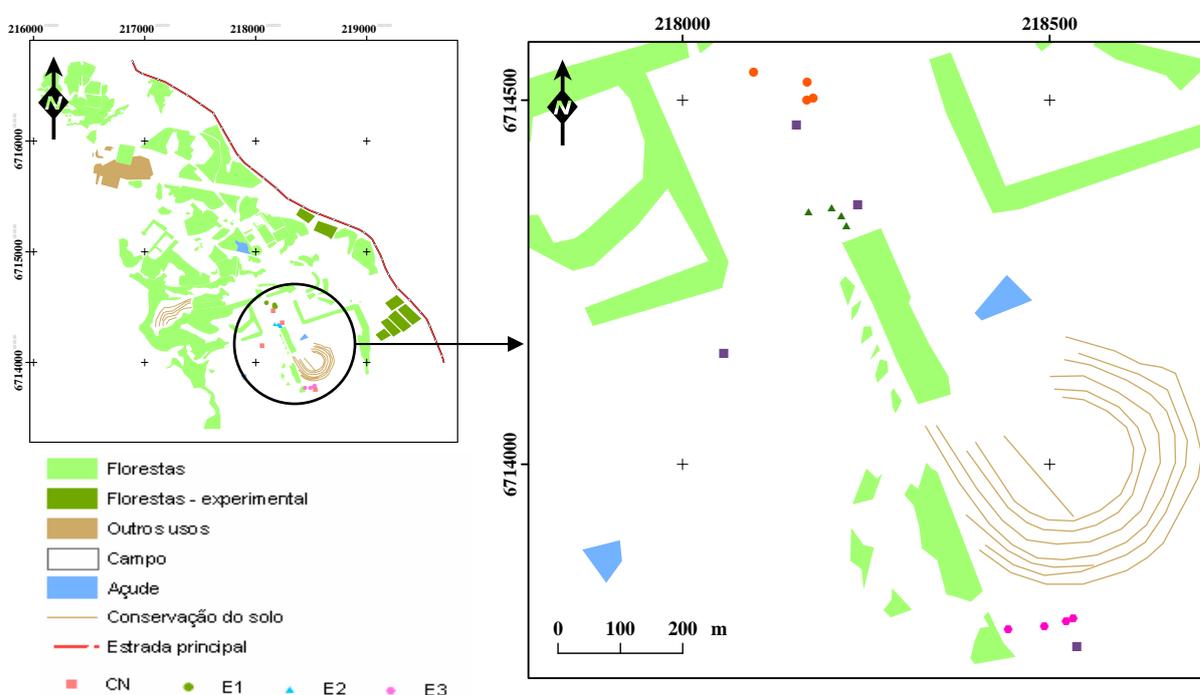


Figura 4 - Ocupação dos solos da Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil, para o ano de 1988. (Escala 1:20.000)

Povoamentos de *E* sp. com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN). Coordenadas Norte (N) e Leste (E) em metros, projeção UTM (zona 22S, datum SAD69).

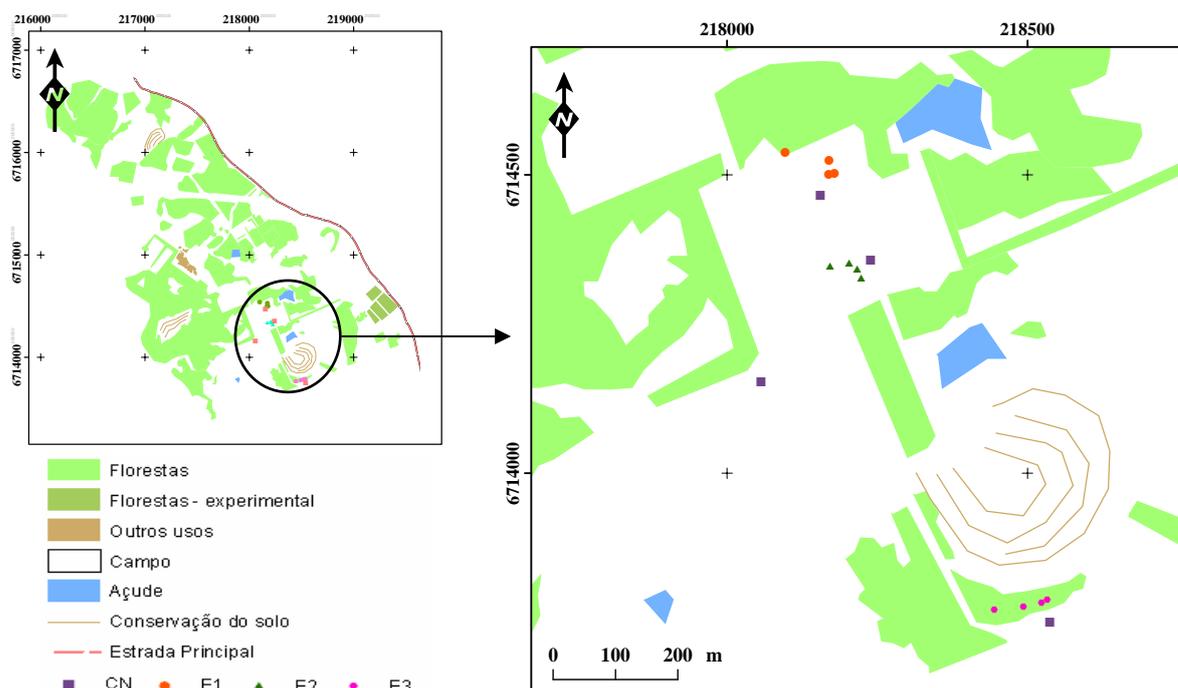


Figura 5 - Ocupação dos solos da Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil, para o ano de 1996. (Escala 1:20.000)

Povoamentos de *E* sp. com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN). Coordenadas Norte (N) e Leste (E) em metros, projeção UTM (zona 22S, datum SAD69).



Figura 6 - Ocupação dos solos da Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil, para o ano de 2008.

Povoamentos de *E* sp. com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN). Fonte: Google Earth.

3.6 Descrição dos tratamentos

O estudo foi conduzido em florestas de eucalipto com 20 (E1), 44 (E2) e aproximadamente 240 (E3) meses de idade (julho de 2008), e campo nativo (CN).

O tratamento E1 corresponde ao povoamento de *E. sp.* com 20 meses de idade implantado sob vegetação de campo nativo, em planície suave do relevo. Pelo histórico de uso do solo e caracterização da vegetação, pode-se observar que, pelas Figuras 3, 4, 5 e 6 (referentes a 1964, 1988, 1996 e 2008), o local era predominantemente ocupado por campo nativo. Registra-se no rebordo ao lado norte a presença de bosque misto, com espécies de eucalipto e pinheiro. Ao quadrante sul apresenta a contínua vegetação campestre. A área recebia freqüentes intervenções, como roçadas mecânicas.

Este povoamento foi implantado em novembro de 2006 sob diferentes preparos de solo. Foi realizada antes da instalação das parcelas, a roçada mecânica em toda a área e o controle de formigas. A área total abrange 0,72 ha, representado por três blocos com quatro parcelas de 600 m² cada uma, correspondendo aos tratamentos de preparo do solo (na linha): plantio direto, escarificação, grade niveladora além de enxada rotativa. O plantio das mudas foi realizado em novembro de 2006, sob espaçamento 3 x 2 m com 100 plantas por parcela (10 linhas e 10 plantas por linha), utilizando mudas da Tecnoplanta Florestal Ltda produzidas a partir de pomar clonal. O replantio foi realizado no primeiro mês, em torno de 15 % e a adubação 30 dias após o plantio, utilizando a formulação 33-80-18 NPK, equivalendo em torno de 218 kg ha⁻¹, conforme recomendação do CQFS-RS/SC. Até a presente idade, não havia sido feito qualquer trato silvicultural, como desbaste ou desrama, apenas roçadas mecânicas aos dois e aos sete meses após o plantio (PREVEDELLO, 2008). Neste estudo, avaliou-se somente o tratamento sob o efeito do preparo de solo utilizando a escarificação e grade niveladora.

O tratamento E2 corresponde ao povoamento de *E. sp.* com 44 meses, implantado sob vegetação de campo nativo em topo de relevo, com área de 0,225 ha. Pelo histórico de uso do solo e caracterização da vegetação, pode-se observar que, nas Figuras 3, 4, 5 e 6 (referentes a 1964, 1988, 1996 e 2008), o local era predominantemente ocupado por campo nativo, o qual recebia freqüentes roçadas mecânicas. No rebordo ao sentido norte, leste e oeste verificam-se a presença

predominante de espécies características do sistema botânico nativo (campo). No quadrante sul, na Figura 4 (1988), verifica-se a presença de bosque homogêneo do gênero *Pinus*. O plantio e o replantio foram realizados em outubro de 2004, sob espaçamento 3 x 1,5 m consistindo de 20 linhas com 25 plantas por linha utilizando mudas produzidas no viveiro da estação experimental. Anteriormente à implantação, foi realizada a roçada mecânica em toda a área e preparo de solo somente na linha utilizando enxada rotativa acoplada ao trator em 15 cm de profundidade. Foram realizadas roçadas entrelinha e combate a formigas nos primeiros seis meses, aplicação de ROUNDUP® em dezembro de 2004, não havendo adubação no momento do plantio. Não se verificou qualquer tipo de trato silvicultural, como desbaste ou desrama até a presente idade. Em função da queda de algumas árvores deste povoamento de *Pinus*, verifica-se a mortalidade de algumas árvores neste tratamento, principalmente na direção sul.

O tratamento E3 corresponde ao povoamento de *E. sp.* com aproximadamente 240 meses de idade, em área total de mais ou menos 1,21 ha, implantado em meados de 1988 (Figura 4 e 5), sob área de campo nativo. O ano de implantação é comprovado pela existência de uma mancha possível de alteração de solo no ano de 1988. De antemão se pode indicar pela reconstrução do histórico local que a predominância de campo nativo neste ambiente precede o cultivo florestal, fundamentado nas diferentes datações das imagens aéreas (Figuras 4, 5 e 6). Nas proximidades deste local, mais precisamente no rebordo ao sentido norte, se visualiza a presença de uma área experimental de conservação de solos, e, ao sentido ao sul, limite da propriedade, a predominância de campo nativo. O preparo de solo foi realizado somente na linha. O plantio foi realizado sob espaçamento 3 x 2 m, obedecendo à declividade do terreno. Foram realizadas roçadas entrelinha e combate a formigas nos primeiros anos de crescimento, bem como intervenções silviculturais, como os desbastes.

O tratamento CN refere-se ao campo nativo, predominante no local, manejado freqüentemente somente por roçadas mecânicas.

3.7 Vegetação

3.7.1 Medição das árvores e produção florestal

A medição das árvores foi realizada em fevereiro e março de 2008 por meio de inventário florestal (Figura 7), utilizando a metodologia de censo nos povoamentos com 20 (E1) e 44 (E2) meses de idade e amostragem no povoamento com 240 meses de idade (E3).

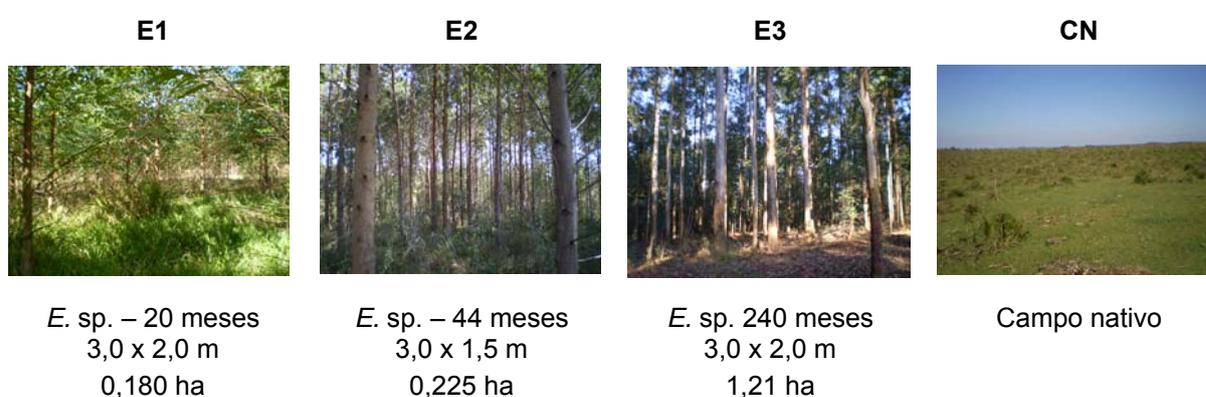


Figura 7 - Dados gerais dos tratamentos, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

No caso de amostragem, utilizaram-se parcelas circulares, com raio de 5 m, distanciadas 20 m na linha e 15 m na entrelinha de amostragem, visando à amostragem de 5 a 10 % da área total. Foram medidos todos os diâmetros à altura do peito (dap) utilizando Suta (FINGER, 1992) bem como 10 % da altura das árvores por povoamento, selecionadas aleatoriamente, com auxílio de Hipsômetro Vertex.

A área basal por árvore foi calculada conforme Finger (1992):

$$g_i = (\pi \times d_i^2) \div 4$$

Sendo,

g_i = área basal da árvore (m²);

d_i = diâmetro à altura do peito (m).

A área basal média por hectare foi calculada considerando o somatório das áreas basais individuais na área amostral pela área por hectare:

$$G = \left(\sum_{n=1}^n g_i \times 10.000 \right) \div a$$

Sendo,

G = área basal ($m^2 ha^{-1}$);

g_i = área basal na i-ésima árvore na área experimental (m^2);

a = área amostral.

Para o tronco, foi medida a altura total, sendo realizada a cubagem pelo método de Smalian (FINGER, 1992) para a determinação do volume com casca para cada árvore-amostra:

$$V = v_0 + \left(\sum \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \times l_i \right) + \left(g_n \times l_n \times \frac{1}{3} \right)$$

Sendo,

V = volume rigoroso com casca da árvore-amostra (m^3);

v₀ = volume do toco;

g_i = área basal na i-ésima posição;

l_i = comprimento da secção na i-ésima posição;

g_n = área basal do cone;

l_n = comprimento do cone.

Para o cálculo do volume com casca por hectare, foi calculado o fator de forma com casca (FINGER, 1992) para cada povoamento:

$$f_{1,3} = \frac{V_{\text{rigoroso}}}{V_{\text{cilindro}}}$$

Sendo,

$f_{1,3}$ = fator de forma artificial (com casca);

V_{rigoroso} = volume (com casca) obtido pelo método de Smalian;

V_{cilindro} = volume (com casca) do cilindro com diâmetro a 1,3 ($V_{\text{cilindro}} = g.h$).

O volume de madeira por hectare foi calculado por classe de frequência dos diâmetros à altura do peito por povoamento. Foram estabelecidas três classes diâmetricas tendo por centros de classe os diâmetros à altura do peito das árvores-amostra. Considerando também o diâmetro à altura do peito destas, foi determinada a área basal por classe diâmetrica. O volume de madeira com casca em cada classe diâmetrica foi calculado pela equação:

$$v_{c/c} = g_i \times h_i \times f_{1,3c/c} \times n$$

Sendo,

$v_{c/c}$ = volume com casca na classe diâmetrica (m^3);

g_i = área basal da árvore-amostra com casca na classe diâmetrica (m^2);

h_i = altura da árvore-amostra (m);

$f_{1,3c/c}$ = fator de forma artificial com casca obtido para cada árvore-amostrada;

n = número de árvores na classe diamétrica.

Para o volume por hectare com casca em cada povoamento considerou-se a equação:

$$V_{c/c} = \left(\sum_{n=1}^n v_{ic/c} \times N \right) \div n$$

Sendo,

$V_{c/c}$ = volume com casca por hectare ($m^3 \text{ ha}^{-1}$);

$v_{ic/c}$ = volume da árvore-amostra com casca na classe diamétrica (m^3);

N = número de árvores por hectare;

n = número de árvores na área amostral.

3.7.2 Biomassa e estoque de carbono nos povoamentos de *E. sp.*

Para a determinação da biomassa arbórea dos povoamentos florestais e do seu estoque de carbono, foram selecionadas três árvores-amostra por tratamento. Para esta seleção, considerou-se o método da árvore individual que é fundamentado na seleção de uma árvore, em geral a árvore de diâmetro médio (SANQUETTA, 2002). Como critério para seleção das outras árvores-amostra, calculou-se o desvio padrão da distribuição dos valores de diâmetro à altura do peito em cada povoamento. Este valor indica uma boa amplitude de distribuição dos valores considerados em relação ao valor médio. Selecionaram-se a árvore de diâmetro à altura do peito médio, a árvore de diâmetro superior (valor de dap+desvio padrão) e a árvore de diâmetro inferior (dap-desvio padrão) em cada local.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{im})^2}{N}}$$

Sendo,

S = desvio padrão;

X_i = valores observados (diâmetro à altura do peito);

X_{im} = média dos valores observados (diâmetros à altura do peito);

N = número de observações (árvores medidas).

As árvores selecionadas foram abatidas com utilização de motosserra, sendo posteriormente realizadas a separação e a pesagem das folhas e dos galhos (Figura 8).



Figura 8 - Desgalhamento (a) e desfolha (b) das árvores dos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Foram retiradas sub-amostras de folhas e galhos para a determinação da massa seca. O peso da massa seca total de folhas e galhos de cada árvore-amostra foi obtido pela expressão (SOARES; OLIVEIRA, 2002):

$$PST_{f;g} = (PUT_{f;g} \times PSA_{f;g}) \div PUA_{f;g}$$

Sendo,

PST_{f;g} = peso seco total de folhas (f) ou galhos (g) (Mg);

PUT_{f;g} = peso úmido total de folhas (f) ou galhos (g) no campo (Mg);

PSA_{f;g} = peso seco da amostra de folhas (f) ou galhos (g) (Mg);

PUA_{f;g} = peso úmido da amostra de folhas (f) ou galhos (g) (Mg).

O lenho foi pesado com e sem casca a fim de determinar o peso de massa seca de madeira e casca (Figura 9).



Figura 9 - Cubagem pelo método de Smalian (a); Pesagem dos toretes com casca (b); Descasque (c); Pesagem dos toretes sem casca (d) das árvores-amostra dos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Para a determinação do peso seco destes compartimentos, foram retiradas três secções transversais do tronco (madeira e casca) com aproximadamente 2,5 cm de espessura em três subdivisões do fuste (inferior médio e superior). O peso de material seco total de cada árvore-amostra (lenho e casca) foi obtido pela soma das subdivisões do fuste seco (lenho e casca), considerando os valores de peso seco da amostra (lenho e casca) obtidos em cada subdivisão, pela equação:

$$PST_{l;c} = (PUT_{l;c} \times PSA_{l;c}) \div PUA_{l;c}$$

Sendo,

PS $T_{l;c}$ = peso seco total de lenho (l) ou casca (c) (Mg);

PU $T_{l;c}$ = peso úmido total de lenho (l) ou casca (c) no campo (Mg);

PS $A_{l;c}$ = peso seco da amostra de lenho (l) ou casca (c) (Mg);

PUA_{i;c} = peso úmido da amostra de lenho (l) ou casca (c) (Mg).

O material coletado foi conduzido ao laboratório de Sementes da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Fepagro Florestas, sendo determinado o peso de massa seca após colocação em estufa a 60^oC por 72 horas. O peso de massa seca (Mg ha⁻¹) por compartimento foi calculado conforme Santana et al. (2008), sendo a massa seca de cada compartimento arbóreo multiplicada pelo número de árvores por hectare.

Para o estoque de carbono (Mg ha⁻¹) da massa seca (Mg ha⁻¹) de cada compartimento, multiplicou-se os valores de massa seca de cada compartimento pelo fator de 0,45. Wang et al. (2001) citam o fator linear de concentração de 0,45 para determinar o estoque de carbono na China. Este valor está na faixa do fator máximo aceitável internacionalmente conforme Penman et al. (2003) registrado pelo IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) que considera o valor de 0,5.

$$\mathbf{PB_c = PBi_c \times N}$$

Sendo,

PB_c = Massa seca (Mg ha⁻¹) no compartimento (casca, lenho, folhas ou galhos);

PBi_c = Massa seca (casca, lenho, folhas ou galhos) da árvore-amostra (Mg);

N = número de árvores por hectare.

$$\mathbf{CB = PB_c \times 0,45}$$

Sendo,

CB = estoque de carbono (Mg ha⁻¹) na massa seca de casca, lenho, folhas ou galhos;

PB_c = Massa seca (Mg ha⁻¹) de casca, lenho, folhas ou galhos.

3.7.3 Carbono no piso florestal e no campo

Para esta determinação, consideraram-se a serapilheira no E2 e E3, a vegetação campestre em transição no E1 e a vegetação de campo (CN). Foram coletadas 24 amostras simples por área, utilizando moldura de ferro de 0,25 m², sendo esta arremessada aleatoriamente. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel identificados e, após, foram mantidas a 60°C por 120 horas em estufa no laboratório de Sementes da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Fepagro Florestas (Figura 10).

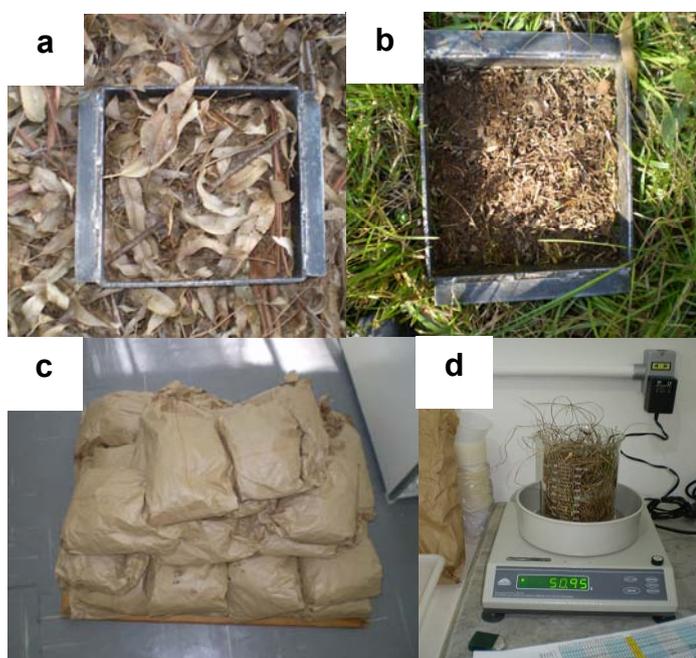


Figura 10 - Material superficial do solo (a) dos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e vegetação de campo nativo (CN: b); material embalado (c); pesagem (d), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Em seguida, as amostras foram trituradas grosseiramente (Figura 11a), homogeneizadas e repassadas em um Triturador tipo Moinho MA048 marca Marconi (Figura 11b), sendo acondicionadas em recipientes totalmente fechados, para a determinação do carbono. Para cada três amostras, obtive-se uma repetição composta rigorosamente homogeneizada, totalizando oito amostras por área.



Figura 11 - Trituração grosseira (a) e fina (b) do material superficial do solo dos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e da vegetação de campo nativo, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Os valores reportados pelas oito repetições da massa seca do piso florestal e da vegetação de campo bem como o seu estoque de carbono ainda foram submetidos ao cálculo do desvio padrão na possibilidade de análise conjunta aos valores de massa seca arbórea e também do seu estoque de carbono para a comparação de plantações florestais e campo. Deste, foi possível obter três repetições por tratamento, constituindo o valor médio (massa seca e estoque de carbono), valor médio mais o desvio padrão e valor médio menos o desvio padrão.

Desconsiderou-se em todos os tratamentos o peso de raízes.

3.8 Solo

A coleta de solo foi realizada em quatro trincheiras, por tratamento, com 1,0 x 0,6 m e profundidade média de 1,3 m, localizadas na entrelinha de plantio. A localização no E1 e E2 foi realizada observando à proporcionalidade igualitária dos diâmetros a altura do peito das árvores vértices na trincheira e homogeneidade na densidade de plantas (efeito clareira). No E3, estas foram localizadas nas entrelinhas de plantio e, no CN, foram alocadas próximo a cada sistema florestal. As trincheiras do povoamento com 20 meses de idade (E1) apresentaram profundidade

de 1,15 a 1,4 m; no povoamento com 44 meses de idade (E2), de 1,15 a 1,3 m; no povoamento com 240 meses de idade (E3), esta profundidade foi de 0,83 a 1,12 m, e para o campo nativo a profundidade de 1,12 a 1,2 m. Os perfis foram divididos em seis camadas observando as características morfológicas como cor, textura e consistência, medindo-se a profundidade de cada camada, além do registro fotográfico digital de cada perfil. Em cada ponto de coleta, foram registradas as coordenadas geográficas com uso de *GPS Garmin* considerando a zona 22S e o datum SAD69. Para as análises físicas e químicas, foram coletadas amostras de solo em estrutura preservada e estrutura não preservada. No laboratório de Física do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, as amostras foram secadas ao ar (TFSA) em caixas de madeira por uma semana, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para posteriormente serem analisadas.

3.8.1 Caracterização química do solo

A análise química foi realizada somente para a caracterização dos solos conforme Andrade (1961) ¹. Foi realizada no Laboratório de Análise Química e Fertilidade do Solo (Figura 12), Universidade Federal de Santa Maria, e os valores podem ser vistos na Tabela 2.



Figura 12 - Análise química do solo (leitura de $\text{pH}_{\text{água}}$ e índice SMP).

¹ As plantações de eucalipto são mais indiferentes à composição química do que às suas propriedades físicas

A metodologia de determinação foi a de TEDESCO et al. (1995). O P e K⁺ disponíveis foram obtidos por extrator de Mehlich. O valor de N total foi obtido por autoanalisador, e a matéria orgânica obtida pela percentagem de carbono, determinada via autoanalisador, multiplicada por 1,724. A CTC_{7,0} foi obtida pela soma dos cátions (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Mn⁺⁺) ao (H⁺ + Al⁺⁺⁺), e a CTC_{efetiva} obtida somente pela soma dos cátions (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ e Al⁺⁺⁺).

Os solos amostrados apresentam uma baixa qualidade química, expresso pela baixa presença de elementos minerais, como cálcio (Ca⁺⁺), magnésio (Mg⁺⁺), fósforo (P⁻³) e potássio (K⁺), presença de acidez expressa pelos baixos valores de pH e alta presença de alumínio (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização química do solo dos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Avaliação	Camada 1				Camada 2				Camada 3				Camada 4				Camada 5				Camada 6			
	E1	E2	E3	CN																				
pH - H ₂ O	4.9	4.5	4.8	5.1	4.9	4.6	4.9	5.0	5.1	4.8	5.0	5.1	5.2	4.9	5.1	5.2	5.3	4.9	5.2	5.2	5.4	4.8	5.2	5.2
Índice SMP	5.3	5.2	5.1	5.5	5.1	5.0	5.0	5.2	5.2	5.0	5.3	5.3	5.3	5.1	4.5	5.5	5.1	5.0	4.3	4.9	5.0	5.0	4.4	4.6
Al ³⁺ trocável	3.3	4.3	4.4	2.9	4.8	5.1	4.9	3.9	4.1	5.1	4.7	4.2	4.0	4.4	7.3	4.3	5.2	5.3	7.4	5.2	5.3	5.8	6.5	7.4
M.O.	1.78	1.37	1.35	1.51	1.61	1.55	1.25	1.40	1.29	1.36	0.86	1.15	1.10	1.15	1.58	1.01	1.23	1.13	1.38	0.98	1.16	1.09	1.11	0.98
N _{total}	0.09	0.08	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05
P	2.02	2.03	1.76	2.67	0.95	1.33	0.95	1.51	0.55	0.64	0.83	1.05	0.48	0.47	0.43	0.99	0.45	0.40	0.28	0.61	0.34	0.37	0.38	0.30
K ⁺	42.0	54.5	42.5	73.5	23.0	55.5	39.0	36.5	23.0	58.0	18.0	27.0	27.0	53.0	26.5	42.5	23.0	48.8	28.0	69.5	34.0	42.5	28.0	78.5
Ca ⁺⁺	2.7	1.1	0.8	2.3	3.2	2.1	1.0	2.2	4.1	2.9	3.3	2.4	4.8	3.5	5.6	2.5	6.2	5.3	5.6	3.6	6.9	6.1	3.0	5.0
Mg ⁺⁺	1.5	1.3	1.2	1.0	0.7	1.0	0.7	0.9	0.9	0.6	1.2	0.7	1.4	1.3	2.3	0.7	1.8	1.8	2.7	1.4	2.3	2.2	1.5	2.2
Mn	8.2	21.8	10.1	7.4	2.0	6.1	4.5	3.2	2.6	3.4	2.9	1.4	2.3	3.3	2.0	1.3	1.0	0.7	1.2	1.1	1.3	0.7	2.5	1.7
CTC pH _{7,0}	51.5	62.1	49.6	82.2	31.9	63.6	45.7	44.9	33.1	66.5	27.8	35.4	38.4	62.9	38.8	51.1	36.1	60.9	40.6	79.4	48.2	55.8	36.8	90.3
CTC _{efetiva}	49.5	61.2	48.8	79.6	31.7	63.7	45.6	43.5	32.0	66.6	27.2	34.3	37.1	61.9	41.3	49.6	35.7	60.8	43.3	79.4	48.1	56.3	38.6	92.8

Índice SMP: (H⁺ + Al⁺⁺⁺); Al³⁺ trocável: cmol_c dm⁻³; MO: matéria orgânica (%); N_{total}: %; P⁻³: mg dm⁻³; K⁺: mg dm⁻³; Ca⁺⁺: cmol_c dm⁻³; Mg⁺⁺: cmol_c dm⁻³; Mn⁺⁺: mg dm⁻³.

3.8.2 Textura do solo

A análise granulométrica foi realizada pela quantificação do teor de argila (<0,002 mm), silte (0,002 a 0,05 mm), areia fina (0,05 a 0,2 mm) e areia grossa (0,20 a 2 mm) pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), utilizaram-se 20g TFSA e, como dispersante, o NaOH. Foi realizada a média de duas amostras em cada profundidade.

3.8.3 Densidade do solo e de partícula

A densidade do solo foi expressa pela razão entre a massa de solo seco (TFSE) e volume do anel, e a densidade de partícula foi determinada pelo método do balão volumétrico modificado (GUBIANI; REINERT; REICHERT, 2006), conforme Figura 13. As densidades foram obtidas pela média de duas amostras para cada profundidade.



Figura 13 - Determinação da densidade de partícula pelo método do balão volumétrico modificado, sendo a pesagem (a), a aferição com álcool etílico (b) e os balões com solo e álcool etílico (c).

3.8.4 Porosidade do solo

Foi medida em amostras de solo com estrutura preservada. Os cilindros foram revestidos na parte inferior com pano poroso, presos com auxílio de borracha e saturados por 24 horas. Após, as amostras foram pesadas e colocadas em Mesa de Tensão sob uma coluna de água de 60 cm (6 Kpa). Decorridas 72 horas, o material foi pesado e conduzido à estufa por 48 horas, sendo calculada a microporosidade de cada amostra. A porosidade total foi calculada pela razão entre a densidade do solo e a densidade de partícula. A diferença entre estas duas determinações resultou no valor de macroporosidade.

$$Pt = (1 - Ds/Dp) \times 100$$

Sendo,

Pt = porosidade total ($m^3 m^{-3}$);

Ds = densidade do solo ($Mg m^{-3}$);

Dp = densidade de partícula ($Mg m^{-3}$).

3.8.5 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

Para o fracionamento físico, foram avaliadas as camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, em cada trincheira. A análise foi realizada pelo método granulométrico (Figura 14) conforme Cambardella; Elliott (1992); Costa et al. (2004) e Bayer et al. (2004).

Foram pesados 10 g de solo e adicionados 60 ml de hexametáfosfato de sódio ($5 g L^{-1}$), sendo mantidos em agitador horizontal por 16 horas. O procedimento de agitação tem por objetivo o rompimento dos agregados do solo com a conseqüente liberação da matéria orgânica associada às partículas. Posteriormente, utilizando-se de jatos de água destilada, este material foi lavado e separado em peneira de 0,053 mm (53 μm). O material retido na peneira (0,053 mm ou 53 μm) foi considerado como fração particulada. Para Nicoloso (2005), essa fração é

considerada como o material orgânico associado à fração areia. O material que transpassou a peneira de 0,053 mm (53 μm) foi considerado como material orgânico associado aos minerais. As frações obtidas (maior e menor que 0,053mm) foram secas em estufa a 60⁰ C, e posteriormente moídas em gral de Ágata para a obtenção de material homogêneo sendo em seguidas, encaminhadas para a realização das análises de carbono.

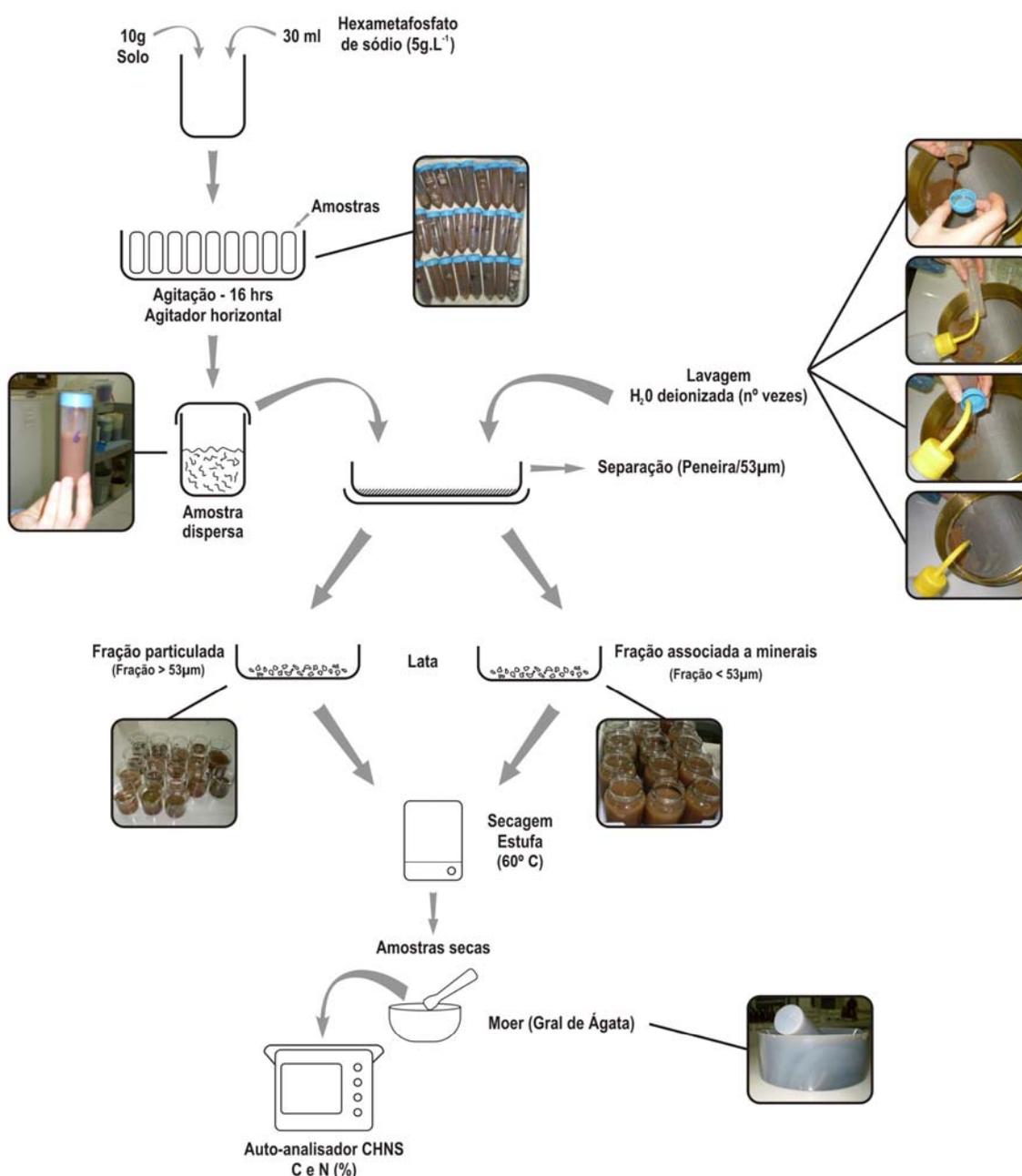


Figura 14 - Fracionamento físico da matéria orgânica do solo obtendo a fração particulada (MMO) e a fração associada a minerais (COM).

3.8.6 Determinação do estoque de carbono

A determinação do carbono do solo, nas frações da matéria orgânica, piso florestal e na vegetação de campo foi realizada pelo método de combustão seca, utilizando Analisador Elementar modelo FlashEA 1112, do Departamento de Solos, na Universidade Federal de Santa Maria.

O estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}) e nas diferentes frações da matéria orgânica, em cada profundidade (MACHADO, 2005), foi calculado conforme equação abaixo, considerando a densidade do solo e a espessura da camada.

$$\text{EC} = \text{C} \times \text{ds} \times \text{p}/10$$

Sendo,

EC = estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1});

C = teor de carbono na camada de solo (g kg^{-1} solo);

ds = densidade do solo na camada (g cm^{-3});

p = espessura da camada de solo (cm).

3.9 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o pacote estatístico SAS versão 2002.

Os dados foram submetidos ao teste de homogeneidade de variância pelo teste de χ^2 –Bartlett e a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk. Caso a análise resultasse em heterocedastia das variâncias ou não seguisse a tendência normal de distribuição dos dados, foi realizada a transformação dos valores para a base logarítmica (natural). Aos valores de carbono foi somada a constante um (1) devido à transformação matemática ter gerado dados negativos.

3.9.1 Massa seca vegetal total e estoque de carbono vegetal total

Para identificar diferenças entre tratamentos, os dados de massa seca total das florestas (árvores e piso florestal) e campo nativo bem como o estoque de carbono deste material foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

3.9.2 Massa seca arbórea e estoque de carbono arbóreo

Os resultados de massa seca e o estoque de carbono em cada componente arbóreo, por tratamento, foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade e posteriormente realizada a correlação linear de Pearson de cada componente arbóreo com a idade dos povoamentos. O teste de comparação de médias foi aplicado somente se os dados apresentassem a independência obtida pelo teste de Durbin-Watson, citado por Urbano (2007), em que um dado obtido em uma idade está fortemente correlacionado ou dependente (inexistência de independência dos dados) ao mesmo dado na idade seguinte. Nesse caso, indica-se mais apropriadamente o uso da análise de regressão na análise de tais tendências. Além disto, Schneider (1998) enfatiza a importância deste teste em análise de regressão, indicando que, se os erros são dependentes, existe uma correlação em série, não se podendo utilizar as análises de t e F no teste de hipóteses.

3.9.3 Massa seca e estoque de carbono no piso florestal

Os resultados de massa seca do piso florestal bem como do seu estoque de carbono foram submetidos à análise de variância e à comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

3.9.4 Propriedades físicas, carbono no solo e nas frações da matéria orgânica

Os dados das propriedades físicas, carbono no solo e carbono nas frações da matéria orgânica do solo foram submetidos à análise de variância e à comparação de médias pelo teste de Tukey e teste de Duncan (números diferentes de observações) ao nível de 5 % de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características das árvores e produção florestal

Pelo inventário florestal (Tabela 3), foi possível caracterizar os tratamentos quanto aos parâmetros dendrométricos, quanto à produção biométrica florestal, bem como determinar os valores de desvio padrão em relação ao diâmetro à altura do peito em cada tratamento para a seleção das árvores-amostra.

TABELA 3 - Dados dos povoamentos de *E. sp.*, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Variáveis	Povoamentos de <i>E. sp.</i> – meses de idade		
	20	44	240
Número de árvores ha ⁻¹	1506	1609	799
Área basal: m ² ha ⁻¹	3,1	16,9	38,3
Volume c/c: m ³ ha ⁻¹	21,2	129,4	476,0
altura média: m	6,3	13,2	22,7
dap médio: cm	4,7	10,8	21,9
dap médio + (s): cm	6,7	14,9	33,3
dap médio – (s): cm	2,6	6,8	10,6
ff _{1/3} médio com casca	0,5975	0,5439	0,4697

c/c: com casca; dap: diâmetro à altura do peito (cm); s: desvio padrão do diâmetro à altura do peito; ff_{1/3}: fator de forma artificial.

Considerando os critérios como árvore normal, morta, bifurcada (abaixo do diâmetro à altura do peito), quebrada, doente e com brotação, no povoamento com 20 meses de idade (E1), 79,5 % são árvores normais, 14,8 % são mortas, 5,0 % bifurcadas e 0,6 % com brotações. Desta totalidade, considerando a classificação, foram medidas 271 árvores, de um total de 300 árvores desejadas (0,18 ha), obtendo uma média de 1506 árvores ha⁻¹. O diâmetro à altura do peito apresentou uma variação de 0,4 a 9 cm e altura medida em torno de 1,4 a 8,7 m. O povoamento com 44 meses de idade (E2) apresentou 64,4 % de árvores normais, 31,4 % são mortas, 4,0 % bifurcadas e 0,2 % com brotações. Considerando a classificação de um total desejado de 500 árvores (0,225 ha), foram amostradas 362 árvores, obtendo assim uma média de 1609 árvores ha⁻¹. O diâmetro à altura do peito neste

tratamento obteve uma variação de 2,0 a 20,5 cm e altura medida variando em torno de 3,6 a 19,1 m. Nestes dois tratamentos, não se registrou a incidência de qualquer intervenção como desrama ou desbaste até o instante do levantamento, sendo que esta densidade populacional é apenas explicada pela mortalidade incidente e pela ocorrência das bifurcações das árvores. No povoamento com 240 meses de idade (E3), 96,8 % são árvores normais, 3,2 % são mortas, não sendo registradas árvores bifurcadas ou com brotações ao nível do dap. Desta totalidade, foram medidas apenas 119 árvores em uma área de 0,149 ha de um total desejado de 248 árvores, enfatizando que o número desejável, para este panorama, seria de 799 árvores ha⁻¹. O diâmetro à altura do peito neste povoamento esteve em torno de 3,8 a 48,2 cm e a altura medida apresentou uma variação de 5,2 a 43,4 m. O menor número de árvores neste tratamento, considerando a população em hectares, pode ser devido às intervenções, como o desbaste, freqüentes realizadas em anos anteriores. Possivelmente esta diferença de produção entre os tratamentos seja devido à densidade populacional, condição de sítio, potencial adaptativo e as condições genéticas dos indivíduos.

4.2 Massa seca vegetal total e estoque de carbono total

Os dados de massa seca total apresentaram homogeneidade de variância ($Pr > 0,2520$), mas não apresentaram uma tendência de distribuição normal dos dados ($Pr < 0,0001$), e um C.V. de 173,5 %. Neste sentido, os dados foram transformados para a base logarítmica (natural). Com a transformação numérica, foi possível obter um valor ainda significativo para a homogeneidade de variância ($Pr > 0,9780$) e uma distribuição normal dos dados ($Pr < 0,8170$), alcançando um valor de C.V. de 36,1 %.

A produção de massa seca total nas diferentes florestas de eucalipto e no campo nativo bem como os seus respectivos estoques de carbono são apresentados na Figura 15.

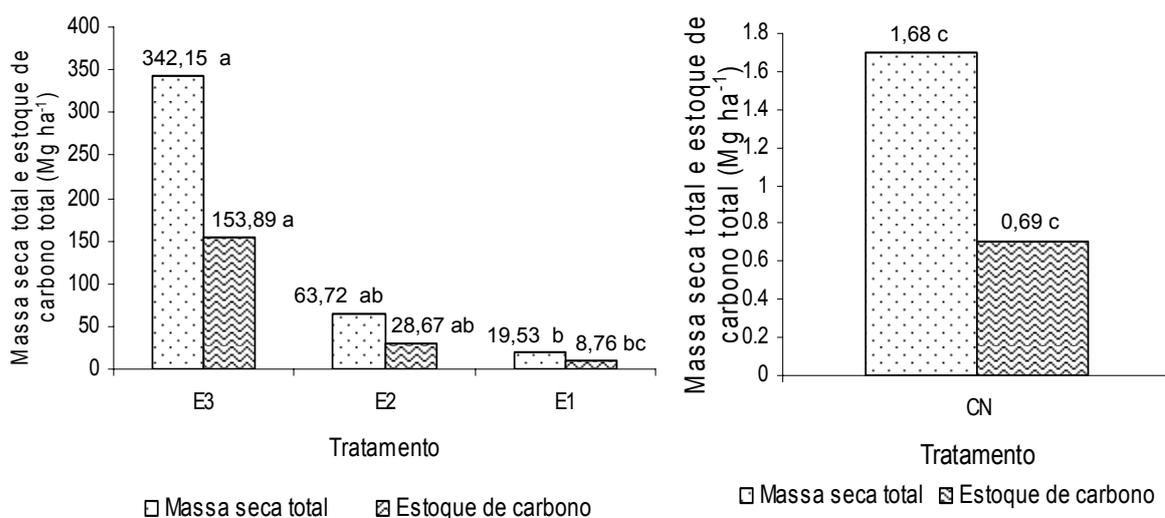


Figura 15 - Massa seca total (Mg ha⁻¹) e estoque de carbono total (Mg ha⁻¹) nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e o campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Médias seguidas pela mesma letra, para cada variável, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O povoamento com 20 meses de idade (E1) foi o tratamento com menor produção total de massa seca entre as diferentes idades dos cultivos florestais, variando de 5,26 a 34,68 Mg ha⁻¹. No povoamento com 44 meses de idade (E2), esta variação foi de 14,06 a 122,08 Mg ha⁻¹ e, no povoamento com 240 meses de idade (E3), esta variação foi de 29,73 a 744,96 Mg ha⁻¹. Entre todos os tratamentos, o campo nativo (CN) apresentou menor produção de massa seca com variação de 1,28 a 2,08 Mg ha⁻¹.

Pela análise de variância (APÊNDICE A), foi possível obter um valor de F (9,65) significativo (0,0049). Pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade de erro, o povoamento com 240 meses de idade (E3) foi o tratamento com maior produção - massa seca total (342,15 Mg ha⁻¹), apresentando diferença numérica para os demais tratamentos e diferindo significativamente do povoamento florestal com 20 meses de idade (E1: 19,53 Mg ha⁻¹) e do campo nativo, mas se igualando ao povoamento florestal com 44 meses de idade (E2: 63,72 Mg ha⁻¹). Já entre as plantações jovens (E1 e E2), não se observaram diferenças significativas entre tratamentos, apesar de o povoamento E1 não ser significativamente diferente do tratamento testemunha (CN). O campo nativo (CN) foi o tratamento com menor acúmulo (1,68 Mg ha⁻¹), diferindo dos demais tratamentos florestais (E1, E2, E3)

(Figura 15). Schumacher; Caldeira (2001) quantificaram a biomassa total acima do solo em talhões de *Eucalyptus globulus* subespécie *maidenii* com quatro anos de idade, em Argissolo, no município de Butiá/RS, totalizando $83,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, intermediário ao valor encontrado para o E2 deste estudo. Freitas (2000) encontrou uma biomassa de $142,31 \text{ Mg ha}^{-1}$ para povoamentos de *Eucalyptus grandis* com 9 anos de idade, na região da campanha gaúcha.

À medida que os povoamentos avançam em idade, o acúmulo de massa vegetal passa a ser mais expressivo, dado o crescimento das árvores e acúmulo de material em decomposição sobre o solo quando comparado ao sistema de campo nativo. O aumento desta variável passa a ser significativo no segundo ano de estabelecimento da cultura florestal, observado no balanceamento da produção pelo tratamento E2, que praticamente em termos estatísticos é igual ao tratamento E3, apesar de este último apresentar valores de produção de massa seca total bem superior, o que está associado ao pequeno número de árvores-amostra utilizadas, pela amplitude dos valores de massa seca total reportada aos altos valores de C.V.

Os dados de carbono na massa seca total apresentaram homogeneidade de variância ($Pr > 0,2520$), mas não apresentaram uma distribuição normal dos dados ($Pr < 0,0001$), e um C.V. de 173,7 %. Estes foram transformados para a base logarítmica (natural), obedecendo à soma da constante um (1) a todo o conjunto de dados em virtude de os valores de carbono menores que um (1) resultarem em valores negativos após transformação. Com a transformação, os dados continuaram a ter homogeneidade de variância ($Pr > 0,5558$), mas também foi possível obter um valor que indicasse a normalidade dos dados ($Pr < 0,5746$) bem como uma melhora do valor de C.V. (41,1 %).

O estoque de carbono na massa seca total nas diferentes florestas de eucalipto e no campo nativo obteve uma variação em escala crescente e significativa do campo nativo (CN) em que a variação foi de $0,52$ a $0,85 \text{ Mg ha}^{-1}$ para $2,32$ a $15,56 \text{ Mg ha}^{-1}$ no povoamento com 20 meses de idade (E1), de $6,31$ a $54,92 \text{ Mg ha}^{-1}$ no povoamento com 44 meses de idade (E2), e de $13,28$ a $335,16 \text{ Mg ha}^{-1}$ no povoamento com 240 meses de idade (E3).

Pela análise de variância (APÊNDICE B), o valor de F (7,49) foi significativo (0,0104) para o estoque de carbono na massa seca total. Com a comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade de erro, o povoamento com 240 meses de idade (E3) é o tratamento com maior estoque de carbono nesta

massa seca ($153,89 \text{ Mg ha}^{-1}$), não diferindo do povoamento com 44 meses de idade (E2: $28,67 \text{ Mg ha}^{-1}$), sendo que este último não diferiu significativamente do povoamento com 20 meses de idade ($8,76 \text{ Mg ha}^{-1}$). O tratamento testemunha (CN), que apresentou o menor estoque total de carbono ($0,69 \text{ Mg ha}^{-1}$), conforme apresentado na Figura 15, foi significativamente diferente para os povoamentos com 44 e 240 meses de idade. Isto pode ter acontecido devido ao fato de o povoamento com 20 meses de idade ainda apresentar uma vegetação de campo em transição à formação de manta florestal.

Estes valores de estoque de carbono assim como de massa seca foram bem menores aos valores encontrados por Balbinot et al. (2008), trabalhando em povoamentos de *Pinus* spp. no estado do Paraná nas idades de 5 a 20 anos estratificados em classes de idade. Considerando somente os valores de carbono, estes autores encontraram um total de $25,57 \text{ Mg ha}^{-1}$ na biomassa de povoamentos com menos de cinco anos de idade e até de $102,70 \text{ Mg ha}^{-1}$ em povoamentos com mais de 15 anos de idade, considerando que se tem um aumento do total de carbono estocado, sendo este valor significativo nas áreas com idade superior a 15 anos. Neste sentido, a alteração do uso da terra, principalmente neste estudo, de campo nativo para um manejo florestal, proporcionou um maior estoque de carbono na massa seca vegetal total.

À medida que as florestas se tornam mais senis, o acúmulo de carbono total no sistema é mais expressivo quando comparado a florestas em idades jovens com maior ritmo de crescimento. Deste modo, se enfatiza a importância de se conhecer o histórico de intervenções realizado nas florestas senis, principalmente o material provindo do desbaste; caso contrário, a quantidade de carbono acumulado estará subestimado. Esta argumentação é fundamental no seqüestro de carbono e na busca de uma qualidade ambiental quando se visa a utilizar povoamentos florestais, especialmente com eucalipto, em rotações de cultivo mais longos. Para Körner (2003), estudar a produção de biomassa ao estoque de carbono para cada espécie vegetal é fundamental, pois estas respondem diferentemente, sendo as suas respostas ditadas pelo tipo de solo, nutrição, água, etc. Esta relação está ainda associada a uma série de outros fatores como, dentre outros, a avaliação nutricional, a idade das culturas, a água que está relacionada à atividade e a eficiência estomática.

4.3 Massa seca arbórea e estoque de carbono arbóreo

Os valores de massa seca arbórea total (Mg ha^{-1}) obtiveram uma variação de 25,53 a 739,82 Mg ha^{-1} no povoamento com 240 meses de idade (E3), seguido pelo povoamento com 44 meses de idade (E2), onde a variação foi de 12,03 a 119,69 Mg ha^{-1} e, por último, o povoamento com 20 meses de idade (E1), onde esta variação foi de apenas 4,05 a 33,29 Mg ha^{-1} . Estes valores podem ser comparados aos dados de Santana et al. (2008) para eucalipto na Depressão Central no Rio Grande do Sul, cuja variação de massa seca arbórea foi de 157,4 Mg ha^{-1} aos 7 anos, a 220,7 Mg ha^{-1} aos 11 anos de idade ou ainda de 171,4 a 267,5 Mg ha^{-1} , respectivamente, para as mesmas idades, mas na região do Litoral Norte, no estado do Espírito Santo. Para idades mais jovens, especialmente na região de Guanhões, em Minas Gerais, estes autores encontraram uma variação de 4,7 a 196,5 Mg ha^{-1} . Os valores reportados neste estudo são bem superiores aos encontrados por Sette Junior; Nakajima; Geromini (2006), avaliando plantações de *Pinus taeda* no município de Rio Negrinho/Santa Catarina, sob Cambissolos, aos 5 (12,04 Mg ha^{-1}), 12 (147,83 Mg ha^{-1}), 14 (75,34 Mg ha^{-1}), 18 (194,96 Mg ha^{-1}) e 26 anos (168,04 Mg ha^{-1}). Isto possivelmente pode ser explicado pelo volume de madeira produzido nos diferentes estudos. O máximo para estes autores foi de 515,5 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ aos 18 anos ou ainda pela densidade de plantas, que, para o estudo com *Pinus taeda*, variou de 1450 árvores ha^{-1} aos 5 anos para 427 árvores ha^{-1} aos 26 anos.

Considerando estes valores totais, pode-se obter a distribuição percentual das massas arbóreas em cada compartimento, apresentada na Figura 16, para os diferentes povoamentos de *E. sp.*, afirmando que os estoques de carbono terão a mesma tendência percentual de distribuição. Constata-se que, no povoamento com 240 meses de idade (E3), 95,21 % da biomassa está no tronco com a madeira (300,07 Mg ha^{-1}) e a casca (21,24 Mg ha^{-1}), 3,47 % nos galhos (11,72 Mg ha^{-1}) e 1,32 % nas folhas (4,44 Mg ha^{-1}). O tratamento com 20 meses de idade (E1) apresentou 63,28 % da biomassa no tronco integrando a madeira (9,87 Mg ha^{-1}) e a casca (1,67 Mg ha^{-1}), 19,98 % nos galhos (3,64 Mg ha^{-1}) e 16,74 % nas folhas (3,05 Mg ha^{-1}). O povoamento com 44 meses de idade (E2) apresentou valores intermediários para os diferentes compartimentos, apresentando um percentual de 8,06% no compartimento folhas (4,96 Mg ha^{-1}), 9,80% para os galhos (6,03 Mg ha^{-1}),

e para o tronco o percentual de madeira totalizou 71,82 % ($44,17 \text{ Mg ha}^{-1}$), e 10,32 % para a casca ($6,35 \text{ Mg ha}^{-1}$). Resultados semelhantes foram encontrados por Andrae; Krapfenbauer (1983) em estudo de acumulação de massa total e percentual em reflorestamento com *Eucalyptus saligna* Smith, com 4 anos, em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Conforme os autores, 61,5 % da biomassa aérea concentraram-se no tronco, indicando que o percentual de folhas e galhos diminui com a idade do povoamento. Para *Eucalyptus grandis* com 9 a 12 anos, em espaçamento $3 \times 3 \text{ m}$ sob Latossolo Vermelho amarelo, Schumacher; Poggiani (1993) encontraram 90 % da biomassa na madeira e casca, e somente 10 % nas folhas e galhos.

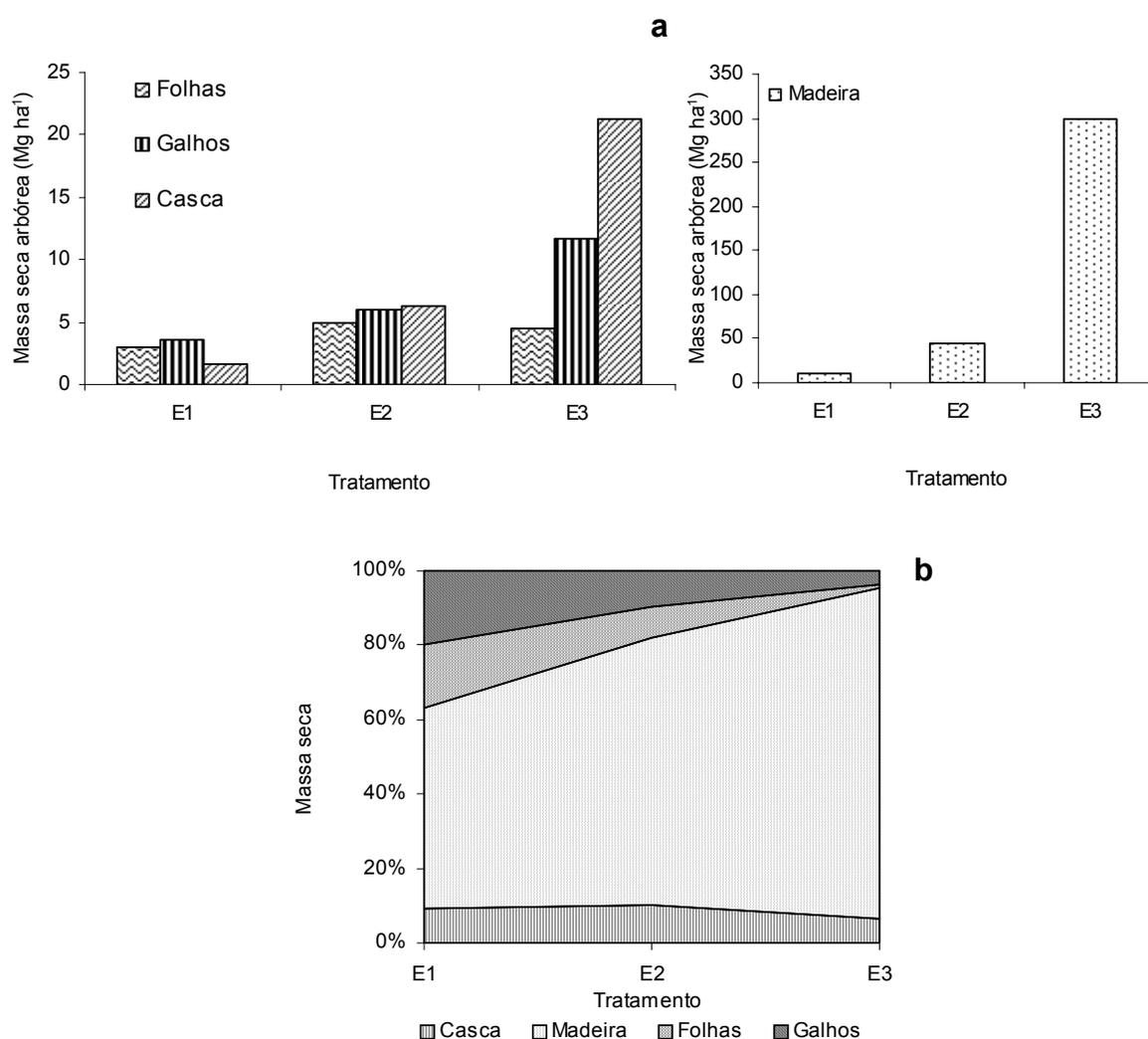


Figura 16 - Massa seca (a) e percentual de massa seca (b) nos componentes arbóreos em povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Entre os compartimentos arbóreos avaliados, os componentes folha e galho decrescem em percentual com o passar da idade, apesar de esta última, em algumas repetições, aumentar à medida que o povoamento atinge maiores idades. Os compartimentos madeira e casca foram crescentes com o aumento da idade do povoamento. Para Reis; Barros (1990), as folhas constituem as maiores proporções da biomassa que atinge o solo até uma determinada idade, momento em que se tem aumento na queda de galhos e casca, sendo que esta idade é dependente da qualidade do sítio bem como da densidade populacional. Poggiani (1980) descreve que o acúmulo de biomassa é mais acelerado na fase juvenil, sendo que na fase de maturidade este acúmulo é menor em função do balanceamento de energia utilizada na produção de material vivo e na energia utilizada para a respiração. Este autor afirma ainda que a produção de massa seca nos compartimentos é diferenciada nas fases das florestas. Na fase juvenil, o crescimento de folhas e galhos é equivalente, mas, à medida que as árvores envelhecem, mesmo a copa apresentando quase a mesma massa vegetal, os galhos aumentam em sentido exponencial o seu crescimento, podendo isto em primeira instância ser observada na Figura 17, relativa aos valores quantificados nos tratamentos avaliados neste estudo.

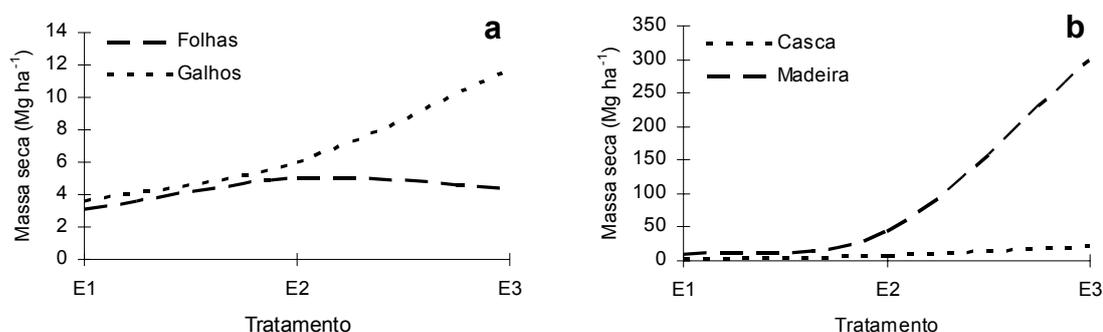


Figura 17 - Massa seca (Mg ha⁻¹) das folhas e galhos (a), e da madeira e casca (b) em povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Possivelmente as características anteriormente relatadas podem indicar a permanência por maior ou menor tempo do carbono armazenado neste material bem como o carbono que permanecerá no solo em função da composição química destes resíduos que regerão a velocidade e a eficiência do processo de fragmentação

vegetal e humificação do material orgânico. A fisiologia das árvores explica que, na fase inicial de crescimento, estas direcionam um maior fluxo de energia para uma maior produção de área fotossintética (folhas) ou material mais facilmente decomponível, e, à medida que atingem idade mais avançada, esta energia passa a ser alocada para a produção de outras estruturas arbóreas de maior porte. Além disto, povoamentos que tenham completado o fechamento do dossel estão significativamente substituindo a vegetação nativa pela deposição e acúmulo de material em vários estágios de decomposição (serapilheira). As variações na produção ou declínios do crescimento das florestas são relatadas por Binkley et al. (2002) ao analisar a sua relação com a área foliar. Para Ryan et al. (2004), tem-se um declínio de 20-80% em período de anos quando se atingem o pico máximo da área foliar, disponibilizando mais energia para a respiração de outros tecidos como madeira e principalmente raízes.

Os componentes folhas, galhos, casca e madeira apresentaram uma homogeneidade de variâncias ($Pr > 0,5102$; $Pr > 0,3047$; $Pr > 0,2283$; $Pr > 0,3319$), mas apenas as folhas tiveram uma distribuição normal dos dados ($Pr < 0,3500$) com um alto valor de C.V. (80,7 %). Os galhos, casca e madeira não mostraram uma tendência de distribuição normal dos dados ($Pr < 0,1285$; $Pr < 0,0012$; $Pr < 0,0001$) bem como altos valores de C.V. (83,4 %; 130,3 %; 166,1 %), respectivamente. Neste caso, os dados para galhos, casca e madeira foram analisados utilizando-se a transformação numérica, particularmente, a função logarítmica (natural), sendo que, para o componente folha, não se obtiveram melhoras com o uso da transformação numérica, utilizando-se, assim, para a análise de variância e teste de comparação de médias, os dados não transformados. Com a transformação numérica, foi possível obter, para os componentes galhos, casca e madeira, uma homogeneidade de variância ($Pr > 0,8357$; $Pr > 0,8988$; $Pr > 0,4894$) bem como uma distribuição normal dos dados ($Pr < 0,6475$; $Pr < 0,9990$; $Pr < 0,9695$), respectivamente para estes componentes, melhorando os valores de C.V. (71,5 %; 85,6 %; 41,8 %).

A partir da análise de variância, foi possível extrair valores de F não significativos para a massa seca de cada compartimento arbóreo nas diferentes idades dos povoamentos. A inexistência de significância se configura também para a análise de variância com os dados de massa seca de galhos (1,46 e $Pr > 0,3038$), casca (1,94 e $Pr > 0,2240$) e madeira (1,96 e $Pr > 0,2209$) antes da transformação numérica, bem como após a transformação (Tabela 4). Isto provavelmente esteja

associado à grande variabilidade de produção entre as repetições, pelo pouco número de árvores-amostra utilizadas na avaliação referenciadas pelos altos valores do coeficiente de variação, variação na densidade de árvores por hectare bem como da amplitude de variação na idade dos povoamentos.

TABELA 4 Análise de variância para a massa seca arbórea (Mg ha^{-1}) nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Componente	F.V.	G.L.	Q.M.	F	Pr>F
Folhas	Tratamento	2	2,9172	0,26	0,7793ns
	Erro	6	11,2176		
Galhos*	Tratamento	2	1,3386	1,14	0,3802ns
	Erro	6	1,1729		
Casca*	Tratamento	2	4,2267	2,91	0,1310ns
	Erro	6	1,4540		
Madeira*	Tratamento	2	6,6996	3,27	0,1093ns
	Erro	6	2,0457		

F.V.: fonte de variação; G.L.: grau de liberdade; Q.M.: quadrado médio; F: valor F; ns: nível de significância a 5 %; * dados analisados na base logaritmo natural.

Avaliados em função da idade dos povoamentos, os dados de massa seca de cada compartimento arbóreo apresentaram a independência dos dados (folha - Dw: 2,55; galhos - Dw: 2,32; casca - Dw: 1,83; madeira - Dw: 2,00), pois conforme Floriano (2007), os tratamentos são independentes quando os valores de Dw são iguais ou próximos ao valor 2.

Submetido ao teste de comparação de médias, não se obtiveram diferenças significativas de massa seca para cada componente arbóreo entre diferentes idades dos povoamentos, sendo que, para a componente folha, o povoamento com 44 meses de idade apresentou os maiores valores de massa seca, seguido pelo povoamento com 240 meses e por fim o povoamento com 20 meses de idade. Para os demais componentes, a tendência regressiva de massa seca foi do povoamento com 240 meses a 20 meses de idade.

Além disto, a correlação linear de Pearson (APÊNDICE C) entre a massa seca arbórea de cada componente e a idade dos povoamentos florestais foi baixa e praticamente não significativa, apesar de o compartimento galhos ($r: 0,5620$), madeira ($r: 0,6289$) e casca ($r: 0,6212$) apresentarem valores de r superiores a 0,5.

O compartimento folha apresentou o menor valor de correlação ($r: 0,0990$), em função de que os valores de produção não apresentaram tendência de aumento dos povoamentos mais jovens (E1 e E2) ao povoamento mais senil (E3), como evidenciado para os outros componentes arbóreos com a idade das florestas.

Com os dados de massa seca arbórea em cada componente, foram obtidas as estimativas de carbono (Mg ha^{-1}), apresentado na Figura 18, verificando-se que, numericamente, os tratamentos apresentam variação nas estimativas dos estoques de carbono nos compartimentos arbóreos no povoamento e entre os povoamentos.

Neste sentido, os estoques de carbono na massa seca arbórea total (Mg ha^{-1}) obtiveram uma variação de 11,49 a 332,92 Mg ha^{-1} (média 151,87 Mg ha^{-1}) no povoamento com 240 meses de idade (E3), seguido pelo povoamento com 44 meses de idade (E2) cuja variação foi de 5,41 a 53,86 Mg ha^{-1} (média de 27,68 Mg ha^{-1}) e por último o povoamento com 20 meses de idade (E1) cuja variação foi de 1,82 a 14,98 Mg ha^{-1} (média de 8,21 Mg ha^{-1}). Considerando estes valores, obteve-se a distribuição percentual do estoque de carbono nas massas arbóreas em cada compartimento para os diferentes povoamentos de *E. sp.* O povoamento com 240 meses de idade (E3) apresenta expressivamente um maior estoque de carbono na madeira (média de 135,03 Mg ha^{-1}) e casca (9,56 Mg ha^{-1}) quando comparadas à madeira (média de 19,88 Mg ha^{-1}) e à casca (média de 2,86 Mg ha^{-1}) no povoamento com 44 meses de idade (E2) e na madeira (4,44 Mg ha^{-1}) e na casca (0,75 Mg ha^{-1}) no povoamento com 20 meses de idade (E1). Analisando o compartimento folha, tem-se a tendência de variação média do estoque de carbono do povoamento com 20 meses de idade (E1: 1,38 Mg ha^{-1}), para o povoamento com 44 meses de idade (E2: 2,23 Mg ha^{-1}) e para o povoamento com 240 meses de idade (E3: 2,00 Mg ha^{-1}). Para o componente galho, observa-se aumento no povoamento com 44 (E2: 2,71 Mg ha^{-1}) e 240 (E3: 5,28 Mg ha^{-1}) meses de idade quando comparado ao povoamento com 20 meses de idade (E1: 1,64 Mg ha^{-1}). Os povoamentos com 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade apresentaram a tendência de maior acúmulo de carbono no tronco (madeira e casca) quando relacionada aos compartimentos folhas e galhos, comparando ao povoamento com 20 meses de idade (E1). Isto ocorre devido ao crescimento das árvores estarem mais concentrado para a formação de biomassa de fuste quando relacionada aos estes demais compartimentos (folhas e galhos), conforme Figura 18.

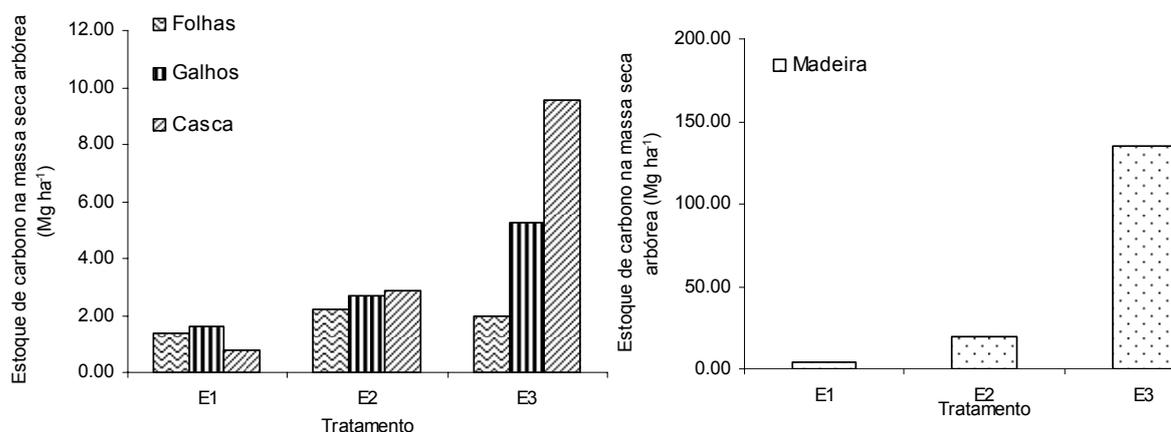


Figura 18 - Estimativa do estoque de carbono (Mg ha⁻¹) nas folhas, galhos, madeira e casca em povoamentos *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Os compartimentos folhas, galhos, casca e madeira tiveram uma homogeneidade de variâncias ($Pr > 0,5106$; $Pr > 0,3047$; $Pr > 0,2283$; $Pr > 0,2251$), mas apenas as folhas apresentaram uma distribuição normal dos dados ($Pr < 0,3494$) e um alto valor de C.V. (80,7 %). Os galhos, casca e madeira não apresentaram uma tendência de distribuição normal dos dados ($Pr < 0,1289$; $Pr < 0,0012$; $Pr < 0,0001$) bem como altos valores de C.V. (83,4 %; 130,3 %; 166,1 %), respectivamente. Neste caso, os dados para galhos, casca e madeira foram analisados utilizando-se a transformação numérica, que foi a função logarítmica (natural). Com esta transformação, foi possível manter para os componentes galhos, casca e madeira, uma homogeneidade de variância ($Pr > 0,8563$; $Pr > 0,3310$; $Pr > 0,4684$) bem como uma distribuição normal dos dados ($Pr < 0,4692$; $Pr < 0,5035$; $Pr < 0,7871$), respectivamente para estes componentes, melhorando os valores de C.V. (55,3 %; 64,4 %; 46,0 %).

A partir da análise de variância, os valores de F não foram significativos para o estoque de carbono na massa seca dos diferentes compartimentos arbóreos nas diferentes idades dos povoamentos. Esta inexistência de significância se configura também para a análise de variância com os dados de massa seca de galhos (1,46 e $Pr > 0,3039$), casca (1,94 e $Pr > 0,2241$) e madeira (1,96 e $Pr > 0,2209$) antes da transformação numérica bem como após a transformação (Tabela 5).

TABELA 5 - Análise de variância para o estoque de carbono (Mg ha^{-1}) nos componentes arbóreos nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Componente	F.V.	G.L.	Q.M.	F	Pr>F
Folhas	Tratamento	2	0,5903	0,26	0,7796ns
	Erro	6	2,2736		
Galhos*	Tratamento	2	0,5322	1,15	0,3771ns
	Erro	6	0,4618		
Casca*	Tratamento	2	1,6250	2,55	0,1575ns
	Erro	6	0,6361		
Madeira*	Tratamento	2	5,3558	3,24	0,1109ns
	Erro	6	1,6506		

F.V.: fonte de variação; G.L.: graus de liberdade; Q.M.: quadrado médio; F: valor F; ns: não significativo ao nível de 5 %; * dados transformados.

Para cada componente arbóreo avaliado em função da idade dos povoamentos, obteve-se a independência dos dados para o estoque de carbono na massa seca real, considerando a componente folha (Dw: 2,55) bem como para os dados transformados, respectivamente, para os componentes galhos (Dw: 2,65), casca (Dw: 2,01) e madeira (Dw: 2,08). Submetido ao teste de comparação de médias, não se obtiveram, igual à massa seca de cada componente arbóreo, diferenças significativas de estoque de carbono nestes compartimentos nas diferentes idades dos povoamentos, sendo que este seguiu a mesma tendência numérica que a massa seca de cada componente arbóreo. Não se observou correlação linear de Pearson (APÊNDICE C) para o estoque de carbono nos diferentes compartimentos arbóreos pela idade dos povoamentos, apesar de os compartimentos galho (0,5620), casca (0,6212) e madeira (0,6289) apresentarem altos valores de r ($> 0,5$), sendo que, para o compartimento folha, esta tendência não se comporta nesta magnitude, representada possivelmente por seu baixo valor de r (0,0992).

A realidade de tendência na distribuição de massa seca arbórea e de seu estoque de carbono nas diferentes idades dos povoamentos florestais pode ser explicada pelo pouco número de unidades amostrais (árvores) utilizadas na avaliação e pela grande amplitude dos dados nos povoamentos, principalmente no povoamento com 240 meses de idade (E3), o que certamente aumenta o erro com o decorrer do crescimento dos povoamentos, apesar de terem sido selecionadas

árvores-amostra a partir de critérios estatísticos (desvio padrão do diâmetro à altura do peito), abrangendo possivelmente a variação de massa seca do povoamento.

A valoração dos diferentes compartimentos pode ser comparada aos dados obtidos por Schumacher et al. (2002), em povoamentos de *Pinus taeda*, em diferentes idades (5, 10, 15 e 20 anos), utilizando uma intensidade amostral de três árvores por idade. Todos os compartimentos apresentam um aumento de biomassa com aumento da idade, exceto para o compartimento folha, que passa a diminuir na idade de 20 anos. A biomassa média total encontrada por este autor em povoamentos com 5 anos (33 Mg ha^{-1}) foi muito similar ao obtido neste estudo, considerando uma similar densidade de árvores (1600 a $1506 \text{ árvores ha}^{-1}$). Na idade de 20 anos, estes autores quantificaram um total médio de biomassa bem inferior ao comparado ao povoamento de *E. sp.*, com 240 meses de idade deste estudo. Esta diferença de biomassa pode ser explicada pela menor densidade de árvores ha^{-1} , que para estes autores foi de $300 \text{ árvores ha}^{-1}$, quando comparada à densidade de árvores ha^{-1} do povoamento com 240 meses de idade deste estudo ($799 \text{ árvores ha}^{-1}$). Estas observações, tanto para a biomassa florestal quanto para a quantidade de carbono em diferentes idades, podem também ser estendidas a povoamentos de *Acacia mearnsii* apresentado por estes mesmos autores. Segundo eles, a biomassa aos 2 anos de idade foi de $15,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ e de $59,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ para povoamentos com 4 anos de idade, apresentando um estoque de carbono em média de $6,3$ e de $24,22 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente, nestas idades, sendo estas diferenças advindas possivelmente da diferença na densidade de árvores ha^{-1} entre os povoamentos (2091 e $1995 \text{ árvores ha}^{-1}$).

O aumento do estoque de carbono na biomassa acima do solo é também apresentado por Christie; Scholes (1995) em plantações de pinus e eucalipto no Sul da África. Estes autores registraram um aumento de $26,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ para $140,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ em rotações de 10 e 25 anos, respectivamente, para plantações de eucalipto com uma produção média de 122 a $695 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ e de menor intensidade para o gênero pinus ($31,7$ a $32,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ para rotações de 15 e 25 anos e produção média de 206 a $217 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$). Apesar de considerarem este aumento, Leles; Oliveira Neto; Silva (1994) esclarecem que as mudanças e as diferenças de estoque de carbono total no ecossistema são dependentes de fatores edafoclimáticos, mas principalmente da idade das árvores. Na fase de crescimento, as árvores retiram quantidades significativas de carbono da atmosfera, mas, à medida que o ritmo de crescimento

se torna estável ou diminui, as quantidades de CO₂ fixadas também diminuem, em virtude de que as taxas de respiração e fotossíntese se igualam.

4.4 Massa seca e estoque de carbono no piso florestal

Na descrição visual do piso florestal, mais especificamente no manto florestal, no povoamento com 20 meses de idade (E1), não se observa a formação de manto florestal ou serapilheira propriamente dita, apresentando ainda a predominância de gramíneas ou vegetação característica de campo, como herbáceas e arbustivas. Turner; Lambert (2002) encontraram uma relação significativa entre quantidade anual de serapilheira e idade dos povoamentos de eucalipto apresentando um acúmulo de 4 Mg ha⁻¹ em plantações jovens (3 anos de idade) e de aproximadamente 8 Mg ha⁻¹ em plantações com 15 anos de idade.

Isto se deve, possivelmente, pelo fato do não completo fechamento do dossel e a inexistente queda de folhas das árvores de eucalipto. O povoamento com 44 meses de idade (E2) apresentou manta superficial com predomínio de material vegetal florestal, como folhas, galhos e sementes de eucalipto em vários estágios de decomposição bem como uma suave transição, com pouca presença, em alguns pontos, de algumas gramíneas, a vegetação típica de campo. O povoamento com 240 meses de idade (E3) apresentou predominância de uma espessa manta superficial formada praticamente por material vegetal florestal como folhas, galhos, sementes, casca etc., em vários estágios de decomposição.

Os acúmulos de massa seca recobrindo o solo para os povoamentos florestais estudados apresentaram homogeneidade de variância (Pr > 0,4719), distribuição normal dos dados (Pr < 0,010) e um C.V. de 11,6 %. Para o estoque de carbono, foi também obtido uma homogeneidade de variância (Pr > 0,3202), distribuição normal dos dados (Pr < 0,0024) e um valor de C.V. de 12,7 %. Apesar disto, os valores para a distribuição normal dos dados de massa seca de serapilheira e estoque de carbono neste material são baixos (Pr < 0,5) e os mesmos não tendem a uma melhora expressiva com a transformação dos dados na função logarítmica natural (Pr < 0,0084; Pr < 0,0068), não sendo realizado, neste caso, a transformação dos dados. Pela análise de variância, os valores de F são significativos tanto para a

massa seca como para o estoque de carbono (APÊNDICE D e E). A posteriori, foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade de erro.

A massa seca no piso florestal obteve uma variação de 4,20 a 5,14 Mg ha^{-1} no povoamento com 240 meses de idade (E3), seguido de 2,03 a 2,39 Mg ha^{-1} no povoamento com 44 meses de idade (E2) representados pelo material em decomposição. O povoamento com 20 meses de idade (E1) teve uma variação de 1,21 a 1,39 Mg ha^{-1} apresentando uma cobertura de vegetação de campo em transição. Estes valores podem ser considerados inferiores aos registrados por Barreto et al. (2008) em povoamentos de eucalipto (clone 1501 *Urograndis*) com 1 (1,56 Mg ha^{-1}), 3 (3,84 Mg ha^{-1}), 5 (15,25 Mg ha^{-1}) e 13 anos de idade (22,86 Mg ha^{-1}). O povoamento com 240 meses de idade (E3) é o tratamento com maior acúmulo de massa seca (4,67 Mg ha^{-1}) e em decomposição sobre o solo bem como o estoque de carbono neste material (2,02 Mg ha^{-1}), diferindo significativamente do povoamento com 44 meses de idade (E2), que apresenta em média 2,21 Mg ha^{-1} de massa seca e um estoque de carbono de 0,99 Mg ha^{-1} . Estes tratamentos diferem estatisticamente do povoamento com 20 meses de idade (E1), que possui um acúmulo de massa seca sobre o solo em média de 1,30 Mg ha^{-1} , com um estoque de carbono de 0,55 Mg ha^{-1} , respectivamente (Figura 19).

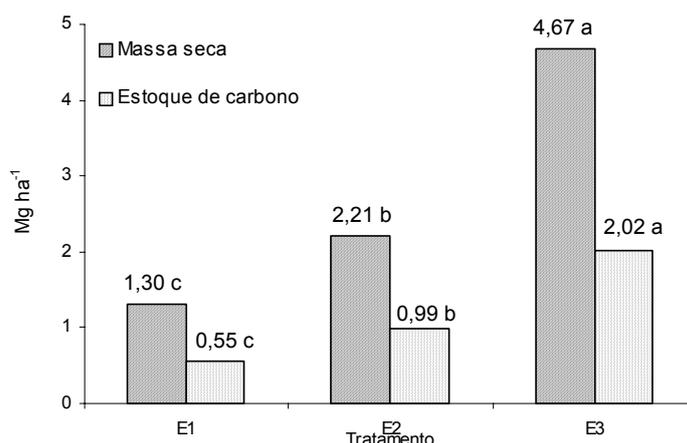


Figura 19 - Estoque de massa seca (Mg ha^{-1}) e carbono no piso florestal (Mg ha^{-1}) nos povoamentos de *E sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Médias seguidas pela mesma letra para cada variável não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Contrastando estes valores, Freitas (2000) encontrou em povoamento de

eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden) com 9 anos de idade no município de Alegrete, Rio Grande do Sul, em Latossolo Vermelho Escuro, com densidade média de 1436 árvores ha⁻¹, um acúmulo médio de material sobre o solo de 5,42 Mg ha⁻¹. As diferenças entre os tratamentos avaliados possivelmente podem estar relacionados ao clima, tipo de solo, densidade populacional e características genéticas dos indivíduos. Para Antunes (2007), o estoque de carbono na serapilheira em povoamentos de eucalipto com 13 e 20 anos de idade em um Argissolo é estatisticamente diferente, variando de 6,00 a 10,86 Mg ha⁻¹, bem mais elevado quando comparado ao registrado neste estudo. O mesmo pode ser comparado aos valores de Schumacher; Witschoreck (2004) em povoamentos de eucalipto com 2 a 8 anos de idade em um Alissolo. Os valores de massa sobre o solo foram em torno de 4,05 a 12,28 Mg ha⁻¹, respectivamente, com um estoque de carbono na ordem de 1,65 a 5,50 Mg ha⁻¹, respectivamente, nestas idades. Barreto et al. (2008), trabalhando em plantações de eucalipto (clone 1501 *Urograndis*) de diferentes idades em Argissolo Amarelo distrófico, quantificaram um teor de carbono de 44,05 g kg⁻¹ ao 1 ano de idade; 48,30 g kg⁻¹, aos 3 anos de idade; 40,40 g kg⁻¹ aos 5 anos de idade; e 42,26 g kg⁻¹, aos 13 anos de idade.

Estas diferenças podem ser atribuídas à existência de formação de manta ou serapilheira florestal em vários estágios de decomposição nos tratamentos E3 e E2. No tratamento E1, o piso florestal é ainda recoberto por vegetação de campo, em lenta transição. Entretanto, com o fechamento expressivo do dossel e começo da competição intensa entre as árvores, dar-se-á o início da ciclagem de nutrientes a partir da deposição e decomposição de material arbóreo. O maior tempo de cultivo, principalmente no povoamento E3 associado a maior deposição anual de resíduos no solo, especialmente galhos e casca, em função do seu teor de lignina, que permanecem por mais tempo desacelerando o processo de decomposição, quando comparado ao compartimento folha, além da diferença na densidade de plantas e no ritmo de crescimento das árvores. A alta presença de nitrogênio no resíduo faz com que a relação C/N, ditada como reguladora do processo de decomposição, seja menor, favorecendo a mineralização (decomposição) do resíduo e a ciclagem de nutrientes bem como determinando menores espessuras de manta acumulada em superfície. A variação de deposição do material residual sobre o solo, em ambientes florestais, conforme REIS; BARROS (1990), pode ser dependente das condições climáticas, qualidade do sítio, características da espécie, adição do resíduo do sub-

bosque, grau de estabilidade da floresta bem como da idade do povoamento. O acúmulo de material sobre o solo depende da taxa de decomposição, de distúrbios naturais ou artificiais, indicando possivelmente que, com o aumento da idade do povoamento, a taxa de produção anual é inferior à quantidade de resíduos acumulados. Isto não é tão expressivo em florestas jovens em virtude de que a manta orgânica, nestes povoamentos, é mais frequentemente incorporada ao solo, cenário observado em florestas de eucalipto no Brasil, em função das curtas rotações.

4.5 Solos

4.5.1 Propriedades físicas do solo

As propriedades físicas densidade de partícula, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade apresentaram uma distribuição normal e homogeneidade de variância. A análise de variância indicou F significativos para a macro e microporosidade no tratamento E3 e microporosidade no tratamento E2 e CN avaliando o efeito da profundidade e para a microporosidade na camada 1 comparando os diferentes tratamentos (APÊNDICE F). Os valores de coeficiente de variação (C.V.) podem ser considerados baixos, variando de 1,6 % (densidade de partícula na quinta camada de solo) até 59,7 % (macroporosidade na quinta camada de solo), avaliando o efeito dos tratamentos em cada profundidade.

Para a densidade de partícula (D_p), os valores estiveram em torno de 2,48 a 2,62 Mg m^{-3} com diferença significativa entre os tratamentos (APÊNDICE G) apenas na segunda e na última camada de solo. Para a segunda camada, o tratamento CN apresentou a maior D_p e significativamente diferente dos tratamentos E1 e E2. O tratamento E3 não diferiu do maior valor (CN) nem dos menores valores de D_p (E1 e E2), os quais (E1 e E2) foram significativamente iguais (2,49 Mg m^{-3}). Para a sexta camada de solo, o tratamento com maior valor foi o campo nativo (CN) diferindo significativamente dos demais tratamentos, os quais são estatisticamente iguais (E1, E2 e E3). Apesar destas considerações, pode-se avaliar, em condição apenas

numérica, a diferença de D_p por tratamento entre as diferentes camadas, considerando que para isto não se observou uma tendência constante e gradativa de aumento da densidade de partícula com a profundidade, mas uma tendência de diminuição, apesar de as camadas superficiais conterem a maior presença de material orgânico e as menores percentagens de argila (PREVEDELLO, 2008). Avaliando a diferença em profundidade para cada tratamento, as diferenças podem ser vistas no tratamento E1, E2 e E3. Para o tratamento E1 e E2, a sexta camada de solo foi a única que diferiu das demais camadas, as quais são significativamente iguais. No tratamento E3, a maior densidade de partícula foi para a terceira camada ($2,58 \text{ Mg m}^{-3}$). A segunda, quarta e quinta camadas de solo não diferem entre si e tampouco da camada com maior valor (camada 3) ou ainda das camadas com menores valores de densidade de partícula (camada 1 e 6), as quais são significativamente iguais.

Os valores de densidade do solo (D_s) (APÊNDICE G) variaram de $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$ até $1,58 \text{ Mg m}^{-3}$. Não se observa diferença significativa entre os tratamentos para cada camada de solo e nem em relação à profundidade para cada tratamento, apesar de as camadas superficiais (1 e 2) apresentarem, em média, os maiores valores de D_s diminuindo em profundidade, possivelmente explicado pelo estado de compactação e empacotamento do solo devido ao tráfego de máquinas e preparo do solo. A variação nas demais profundidades pode ser advinda da compactação de carga acumulativa de pressões e histórico de tensões em virtude da trabalhabilidade dos horizontes superficiais agregados ao peso destes mesmos horizontes. Apesar disto, Suzuki (2008) encontrou um aumento da densidade do solo com a profundidade no perfil até 1 metro, avaliando florestas de eucalipto com 4,5 e 20 anos de idade bem como pastagens em Argissolo Vermelho distrófico no município de Butiá, Rio Grande do Sul. Os valores encontrados por este autor foram de $1,04$ a $1,39 \text{ Mg m}^{-3}$ a $0,0-0,05 \text{ m}$ e $0,40-0,60 \text{ m}$ na floresta com 20 anos e de $1,55$ a $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$ para a floresta de 4,5 anos a $0,0-0,05$ e $0,60-1 \text{ m}$ de profundidade, respectivamente, e para a pastagem de $1,46$ a $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ para as camadas de $0,0-0,05$ e $0,20-0,40 \text{ m}$, respectivamente. Este mesmo autor ainda associa que as diferenças de densidade ainda podem ser consideradas pela diferença textural entre as profundidades e entre as áreas avaliadas.

Considerando os tratamentos do presente trabalho em praticamente todas as camadas, o tratamento E2 apresentou os maiores valores de D_s , excetuando as

camadas 3 e 4, cujo tratamento CN foi o que apresentou os maiores valores. A distribuição dos menores valores de Ds é aleatória, podendo ser registrada nas camadas intermediárias (2, 3, 4 e 5) para o tratamento E3, na camada superficial (1) e na última camada para os tratamentos E1 e CN, respectivamente. Os valores de densidade do solo para Brun (2008), citando Pritchett (1990), podem ser considerados inferiores aos limites críticos de $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos arenosos e de $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos argilosos e similares aos reportados por Prevedello (2008) em argissolo, cuja média foi de 1,33; 1,42; 1,42; $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$ para as camadas 0,0-0,10; 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40m, respectivamente.

Para a porosidade total (Pt), as variações foram de 0,37 a $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ com diferenças significativas entre os tratamentos apenas na quinta camada de solo. Estes valores estão próximos aos reportados por Suzuki (2008), em torno de 0,404 a $0,415 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para as camadas de 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m em pastagens, de 0,365 a $0,402 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para as camadas de 0,10-0,20 e 0,0-0,05 m na floresta de eucalipto com 4,5 anos e de 0,411 a $0,464 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para as profundidades de 0,20-0,40 e 0,05-0,10 m. Para a quinta camada, o tratamento E2 foi o que apresentou a menor porosidade total ($0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), diferindo significativamente do tratamento (E3), o qual apresentou o maior valor ($0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) de porosidade total, mas não diferindo dos demais tratamentos (E1: $0,41 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e CN: $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Avaliando o efeito das profundidades em cada tratamento, as únicas diferenças ocorreram somente para o tratamento E3, com a primeira camada diferindo significativamente das demais, sendo que as duas últimas profundidades (5 e 6) bem como a segunda camada não diferiram dos maiores valores (camada 3 e 4) e tampouco do menor valor (camada 1) de porosidade total.

Os maiores valores de porosidade total foram obtidos nas camadas mais profundas, podendo este aumento estar associado à diminuição da densidade do solo em profundidade. Para Prevedello (2008), os maiores valores de porosidade total foram obtidos na camada superficial (0,10-0,20 m) considerando um máximo de profundidade de 0,40 m. Segunda Silva et al. (2005), a porosidade total foi superior na superfície quando comparada à subsuperfície, podendo ser explicada pelos ciclos sucessivos de umedecimento-secagem que ocorrem na superfície agregados à melhoria na atividade biológica e no acúmulo de matéria orgânica. Para Ribeiro et al. (2007), a porosidade do solo é explicada pelo arranjo das partículas, sendo que quando estas se arranjam em íntimo contato, tem-se a predominância de

sólidos na amostra, indicando que a porosidade total é baixa. Se o arranjo de partículas ocorre desordenadamente, formam-se os espaços vazios indicando uma alta porosidade.

Complementando, Reichert; Suzuki; Reinert (2007) esclarecem que a densidade do solo e a porosidade apresentam relação inversa, pois, devido à forma laminar das argilas e ao aumento do seu teor, estas se dispõem de forma ordenada, com melhor encaixamento, diminuindo os espaços vazios, reduzindo assim a macroporosidade e aumentando a microporosidade. A formação de macroporos nos espaços entre o possível contato de partículas de areia quando do seu entrelaçamento associado a sua estrutura irregular é explicado por Suzuki (2008) pela diminuição da densidade do solo com o acréscimo de argila sugerindo que, para avaliar o solo, devem-se considerar diversos atributos físicos.

Os valores de macroporosidade situaram-se na faixa de 0,06 a 0,24 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Suzuki (2008) determinou valores de macroporosidade em torno de 0,079 a 0,091 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para a floresta de eucalipto com 4,5 anos nas camadas 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m; 0,097 a 0,196 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, para a floresta de eucalipto com 20 anos de idade nas camadas 0,20-0,40 e 0,0-0,05 m; e para as pastagens de 0,032 a 0,068 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, nas camadas 0,0-0,05 e 0,40-0,60 m. Avaliando o efeito dos tratamentos em cada camada de solo, não se contextualiza diferença significativa nas camadas mais superficiais (1 e 2) e mais profundas do solo (4, 5 e 6). Portanto, a significância entre tratamentos só foi estabelecida na terceira camada, com os maiores valores ocorrendo no tratamento E3 não diferindo estatisticamente dos tratamentos E1 e CN (APÊNDICE G). Suzuki (2008) propõe que os maiores valores de macroporosidade também foram encontrados na floresta com 20 anos e para a mata nativa em função da menor ação antrópica, do desenvolvimento radicular bem como da presença de material orgânico e da atividade biológica. Avaliando o efeito da profundidade em cada tratamento, observa-se diferença significativa em profundidade em todos os tratamentos, com tendência de as camadas superficiais apresentarem os maiores valores de macroporosidade, e as camadas mais profundas (5 e 6), os menores valores, sendo estes significativamente diferentes.

Pode-se observar nas camadas mais profundas que alguns tratamentos apresentaram valores de macroporosidade abaixo do valor crítico para um bom crescimento das plantas (0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Para Silva et al. (2005), o volume de macroporos considerado adequado para a aeração do sistema radicular e para o

crescimento de plantas está em torno de 0,09 a 0,20 m³ m⁻³, levando-se em conta um limite crítico de 10 % do volume total de poros.

Quanto à microporosidade, os valores estiveram em torno de 0,19 a 0,38 m³ m⁻³. Para a microporosidade, Suzuki (2008) encontrou valores em torno de 0,307 e 0,340 m³ m⁻³ para as camadas de 0,0-0,05 e 0,60-1,00 m na floresta de 4,5 anos, de 0,337 m³ m⁻³ nas camadas 0,10-0,20 e 0,6-1,00 m, de 0,252 m³ m⁻³ para a camada 0,00-0,05 m na floresta de 20 anos e de 0,344 e 0,378 m³ m⁻³ nas camadas 0,40-0,60 e 0,00-0,05 m. Para Silva et al. (2005), os valores de microporosidade tiveram uma variação de 0,25 a 0,32 m³ m⁻³. As diferenças significativas entre os tratamentos por profundidade ocorreram nas camadas superficiais (1 e 2), sendo que o tratamento E3 apresentou os menores valores de microporosidade nestas duas camadas (primeira camada: 0,19 m³ m⁻³; segunda camada: 0,21 m³ m⁻³), e o tratamento CN não diferiu nem dos maiores nem dos menores valores nestas mesmas camadas. Considerando o efeito da profundidade em cada tratamento, todos apresentaram diferenças significativas, sendo que preferencialmente as camadas mais profundas (5 e 6) apresentaram os maiores valores, diferindo significativamente das camadas superficiais (1 e 2) que apresentaram os menores valores. Em média, todos os tratamentos apresentaram uma melhor microporosidade nas camadas mais profundas do perfil e menor intensidade destes diminutos poros nas camadas superficiais (APÊNDICE G). Esta tendência não é a mesma apresentada por Prevedello (2008). Para este autor, a maior microporosidade foi obtida na camada 0,0-0,10 m e a menor macroporosidade na camada 0,30-0,40 m. Este fato é associado por este autor à maior densidade do solo na profundidade de 0,30-0,40 m. Com base nestes resultados, pode-se afirmar que as camadas superficiais são as que mais alteram sua estrutura porosa com o manejo do solo.

4.5.2 Teor e estoque de carbono no solo

Os dados apresentaram distribuição normal e homogeneidade de variância, e os valores de C.V. variaram de 11,9 % a 37,5 %. Os valores significativos de F ocorreram para o estoque de carbono (Mg ha⁻¹) entre os tratamentos na camada 2 e

para o estoque de carbono (Mg ha^{-1}) entre as camadas nos povoamentos de 20 (E1) e 44 (E2) meses de idade e para o teor de carbono entre as camadas nos povoamentos E1 e E3 (APÊNDICE F). As diferenças significativas entre as camadas para cada tratamento podem ser vistas na Figura 20 e APÊNDICE G.

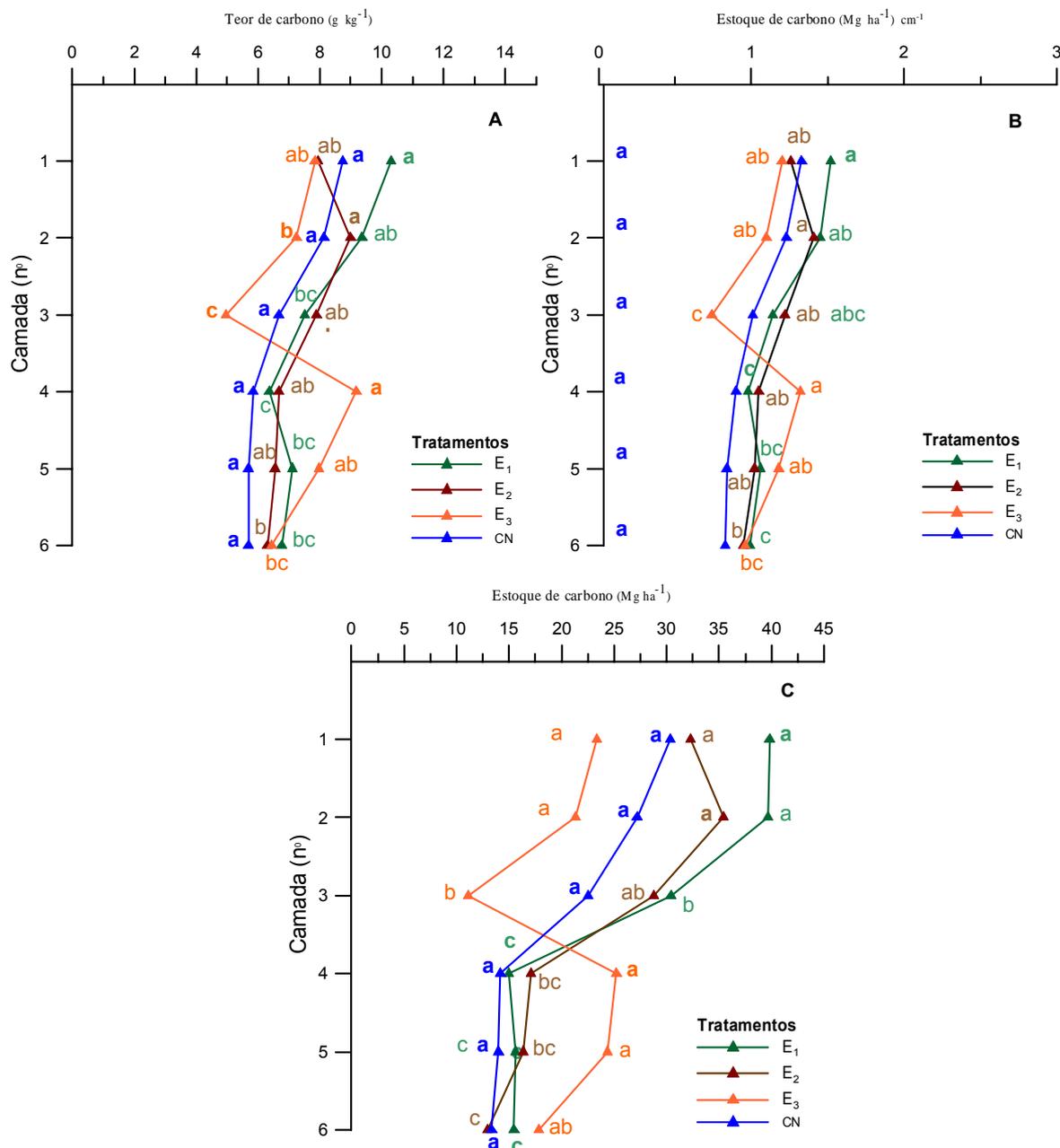


Figura 20 – Teor de carbono: g kg^{-1} (A); estoque de carbono (Mg ha^{-1}) na camada (C) e estoque de carbono (Mg ha^{-1}) a cada centímetro da camada (B) no solo dos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente em profundidade em cada tratamento pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Os valores de teor e de estoque de carbono nas diferentes camadas de solo nos diferentes tratamentos podem ser considerados baixos, com variação de 4,97 (tratamento E3) a 10,31 g kg⁻¹ (tratamento E1) e de 11,09 a 39,81 Mg ha⁻¹, respectivamente, para os mesmos tratamentos. A variação para o teor foi, para o tratamento E2, de 6,30 a 9,00 g kg⁻¹, e para o tratamento CN esta variação esteve em torno de 5,69 a 8,75 g kg⁻¹. Para o estoque de carbono, no tratamento E2, a variação foi de 12,94 a 35,42 Mg ha⁻¹, e para o CN de 13,36 a 30,36 Mg ha⁻¹. De fato, o teor e o estoque de carbono em todos os tratamentos diminuíram em profundidade com ressalva para o tratamento E3 (Figura 20A, B e C), especialmente nas camadas 4 e 5, fato este que retoma o cenário reducionista na última camada. Para Brun (2008), o manejo de Argissolos deve ser criterioso em virtude de apresentar baixos teores de carbono, indicando que práticas de manejo adequadas em povoamentos florestais e campo natural manejado podem elevar estes estoques.

Nos trabalhos de Caldeira et al. (2002), os teores de carbono diminuíram em profundidade no perfil, para florestas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze nas idades de 23 a 32 anos e *Pinus taeda* L., nas idades de 14 a 32 anos no Paraná, para *P. taeda* L. de 5 a 20 anos de idade e para *Acacia mearnsii* De Wild, aos 2 aos 8 anos de idade, no Rio Grande do Sul. Considerando as camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m em função da idade da floresta, admite-se uma diminuição do teor de carbono à medida que as florestas se tornam mais velhas, apesar de algumas poucas camadas de solo, nos diferentes sistemas avaliados, não apresentarem esta tendência. Maquere et al. (2008) encontraram que os estoques de carbono diminuem mais intensamente na camada superficial 0,0-0,05 m (1,25 %) quando comparados às camadas mais profundas de 0,8-1 m (0,42 %) sobre plantações de eucalipto e pastagens estabelecidos sobre vegetação de cerrado. Schumacher; Witschoreck (2004), estudando a dinâmica do carbono em profundidade no solo em plantios de *Eucalyptus* ssp. de diferentes idades no Rio Grande do Sul, indicam diferenças de estoque de carbono em profundidade no solo obtendo uma variação de 7,85 Mg ha⁻¹ na profundidade de 0,2-0,4 m no povoamento com quatro anos de idade e de 80 Mg ha⁻¹ na profundidade de 0-0,2 m no povoamento de oito anos.

Considerando o efeito dos tratamentos avaliando-se cada camada de solo, observa-se que os valores de teor e estoque de carbono por centímetro não diferiram significativamente entre as diferentes florestas de eucalipto e o campo

nativo. As diferenças ocorrem somente para o estoque de carbono (Mg ha^{-1}) representado na Figura 21 em praticamente todos os horizontes, principalmente nos horizontes superficiais (1 e 2) e intermediários (3 e 4) do solo até a penúltima (5) camada, em média 1m de profundidade, excetuando portanto a última camada de solo (6).

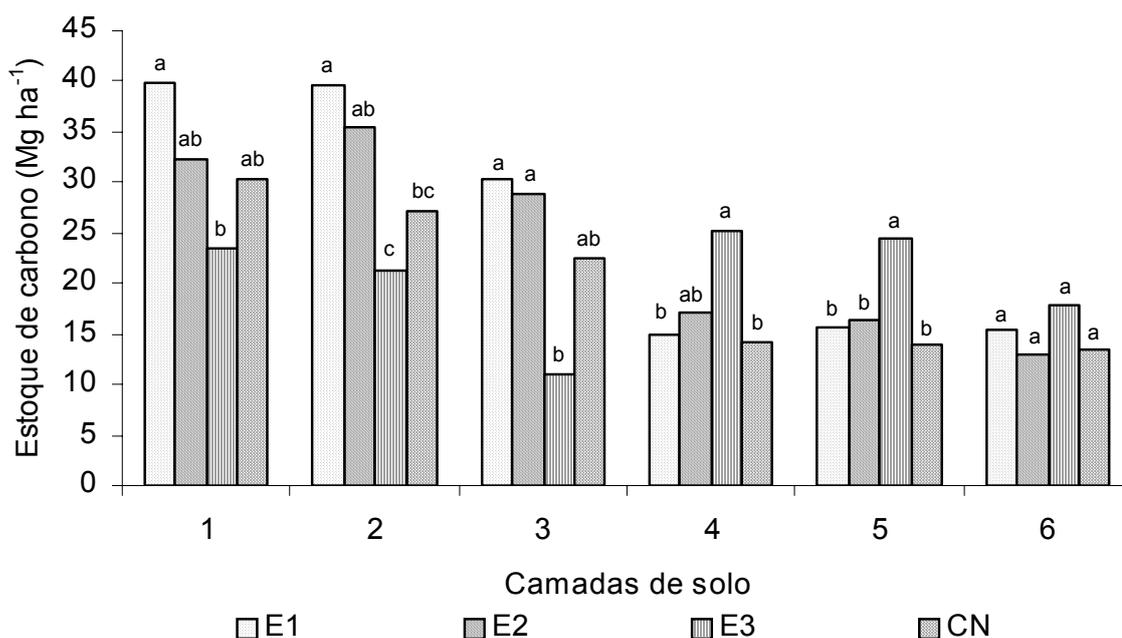


Figura 21 - Estoque de carbono (Mg ha^{-1}) nas camadas de solo nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2), 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre os tratamentos por camada de solo pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

De maneira geral, os tratamentos E1, E2 e CN apresentam os maiores teores e estoques de carbono nos horizontes superficiais (camadas 1, 2 e 3), sendo os menores valores encontrados no tratamento E3, diferindo significativamente de E1 e E2 nestas camadas. As diferenças nos horizontes superficiais são significativas possivelmente porque são nestas camadas que se encontram as maiores quantidades de matéria orgânica advinda da decomposição dos resíduos e atividade radicular e presença de microorganismos. Esta alteração do carbono do solo pode ser também confirmada por Post; Kwon (2000), segundo os quais a alteração da vegetação nativa diminui o carbono orgânico do solo. Para Guo; Gifford (2002), devido à espécie, à acumulação de serapilheira, à produção de raízes, à

precipitação e à idade das plantações, têm-se efeitos significativos no estoque de carbono do solo, sendo este estoque restaurado a condições de equilíbrio somente após 40 anos de estabelecimento destas plantações. As mudanças nos estoques do material orgânico alteram-se sensivelmente em função da variada produção entre os sítios sendo em média 50 % perdido, nos primeiros 20 anos após o corte da floresta devido ao incremento das taxas de decomposição e diminuição nas entradas de novo material orgânico (YANAI; CURRIE; GOODALE, 2003).

Antunes (2007), estudando a dinâmica do carbono em um Argissolo Vermelho distrófico sob cultivo de eucalipto com 4,5 e 20 anos de idade e para uma pastagem, encontrou uma diminuição do carbono total em profundidade com os maiores teores no horizonte superficial (0,0-0,05 m) e os menores valores na camada 0,60-1,00 m, variando de 33,61 a 8,73 g dm⁻³ para a floresta de eucalipto com 4,5 anos, de 32,37 a 11,25 g dm⁻³ para a floresta de 20 anos de idade e de 27,36 a 11,64 g dm⁻³ na pastagem nas profundidades de 0,0-0,05 e 0,60-1,00 m. As florestas de eucalipto apresentaram as maiores quantidades de carbono orgânico total na camada 0,0-0,05m e no último horizonte avaliado (0,60-1,00 m) quando comparadas a pastagem. Para os estoques, a variação foi de 8,13 a 34,94 Mg ha⁻¹ na camada 0,05-0,10 m para a floresta com 4,5 anos de idade e de 8,91 a 44,98 Mg ha⁻¹ na floresta de eucalipto com 20 anos de idade na camada 0,60-1,00m, diferenciando-se da pastagem para as camadas 0,0-0,05 e 0,60-1,00 m, nas quais os estoques de carbono variaram de 12,16 a 46,53 Mg ha⁻¹.

Para Chan (1997), a conversão de pastagens nativas em áreas de cultivo convencional na Austrália causou uma diminuição de 50 e 27 % do carbono do solo nas camadas 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m com 16 anos de cultivo, sendo que, em outro local, com 26 anos de cultivo, a diminuição foi de 41 e 37 % para as mesmas profundidades. A quantidade de carbono na camada superficial (0,0-0,10 m) em florestas de pinus e eucalipto é menor quando comparada a sistemas nativos como as florestas nativas na Austrália (TURNER; LAMBERT, 2000). Considerando as florestas de eucalipto estabelecidas sob pastagens, esses autores observaram diferenças de carbono orgânico nas diferentes profundidades no perfil, sendo que, na profundidade de 0,0-0,10 m, ocorre uma diminuição do carbono orgânico até os 15 anos da floresta e, para uma profundidade de 0,0-0,5 m, esta diminuição continuou com o tempo até a floresta atingir 20 anos de idade, totalizando uma perda líquida de carbono de 180 Mg ha⁻¹. A entrada de carbono nos solos de

plantações florestais é dependente da deposição de resíduos florestais e pelas taxas de decomposição deste material, afetadas pela qualidade de sítio e pela espécie. Para estes mesmo autores, as plantações florestais de curta rotação e sem qualquer enriquecimento nutricional poderão conduzir a uma perda de carbono orgânico total.

Para Bashkin; Binkley (1998), os reflorestamentos não promoveram um aumento de carbono total após os 10-13 anos de idade até a profundidade 0,55 m. Apesar de ter ocorrido um aumento na camada superior, houve uma diminuição na camada inferior devido às alterações de uso do solo. Paul; Polglase; Richards (2003) indicam que o reflorestamento nos primeiros 10 anos causam um decréscimo inicial de carbono até uma profundidade de 0,30 m, ocorrendo o incremento a partir dos 10 a 14 anos de idade da plantaçaõ para *Pinus radiata* (35 anos), *Eucalyptus grandis* (13 anos) e *E. globulus* (10 anos). Binkley; Resh (1999) também observaram alterações de carbono nos solos com florestamentos de eucalipto no Hawaii, sendo que as mudanças de carbono não foram significativas aos 32 meses de idade, até 0,30 m de profundidade. Isto não é integralmente similar ao observado por Fitzsimmons; Pennock; Thorpe (2004). Segundo estes autores, o cultivo gera uma redução do carbono orgânico do solo identificado pelo maior estoque de carbono em sítios florestais boreais (63 a 114 Mg ha⁻¹) até uma profundidade de 0,45 m quando comparado a pastagens (47 a 101 Mg ha⁻¹) e sítios cultivados (em média de 41 a 88 Mg ha⁻¹). Vesterdal; Ritter; Gundersen (2002) observaram um incremento no teor de carbono na camada de 0,0-0,05 m, mas um decréscimo nas camadas 0,05-0,15 m e 0,15-0,25 m nas diferentes idades de florestas de *Picea abies*.

Mafera et al. (2008), comparando florestas de pinus e araucária aos ambientes nativos, quantificaram um maior teor de carbono na camada 0,0-0,05 m, especialmente nos sistemas nativos (campo e mata), em virtude do processo de humificação mais acentuado dado pela existência da serapilheira. Para a subsuperfície (0,2-0,4 m), o destaque foi para a floresta de pinus com 20 anos de idade, não diferindo do campo nativo. Os maiores estoques totais, bem como estoques na camada 0,2-0,4 m, foram encontrados na floresta de pinus com 20 anos de idade e no campo, sendo que a mata nativa teve maiores valores na camada de 0,0-0,05 m. Isto indica que os reflorestamentos tanto com pinus como araucária mantiveram o estoque de carbono no solo na camada 0,0-0,4 m, similar aos sistemas nativos (campo e mata). Para os horizontes mais profundos neste trabalho, principalmente as camadas 4 e 5, o tratamento E3 apresentou os maiores estoques,

diferindo significativamente do tratamento E1 e CN (Figura 21). Esta realidade pode ser explicada pela textura mais argilosa quando comparada à textura franca argilo-arenosa para tratamento E1, e a textura franco-arenosa e franco-argiloso para o tratamento CN, nestas camadas. Apesar disto, especialmente no tratamento E3, observa-se a existência de perfis mais rasos e a presença em camadas mais profundas da rocha em alteração ou pouco intemperizada, os chamados saprolitos (Figura 22d). Isto é salientado por Abrão et al. (1988), de que nesta unidade de mapeamento podem ocorrer pequenas inclusões de solos com horizonte B menos espesso, na transição para solos litólicos. Isto não se configura para os demais tratamentos (Figura 22a, b e c), os quais apresentam uma seqüência gradual e harmônica em profundidade, com perfis, em média, mais profundos.

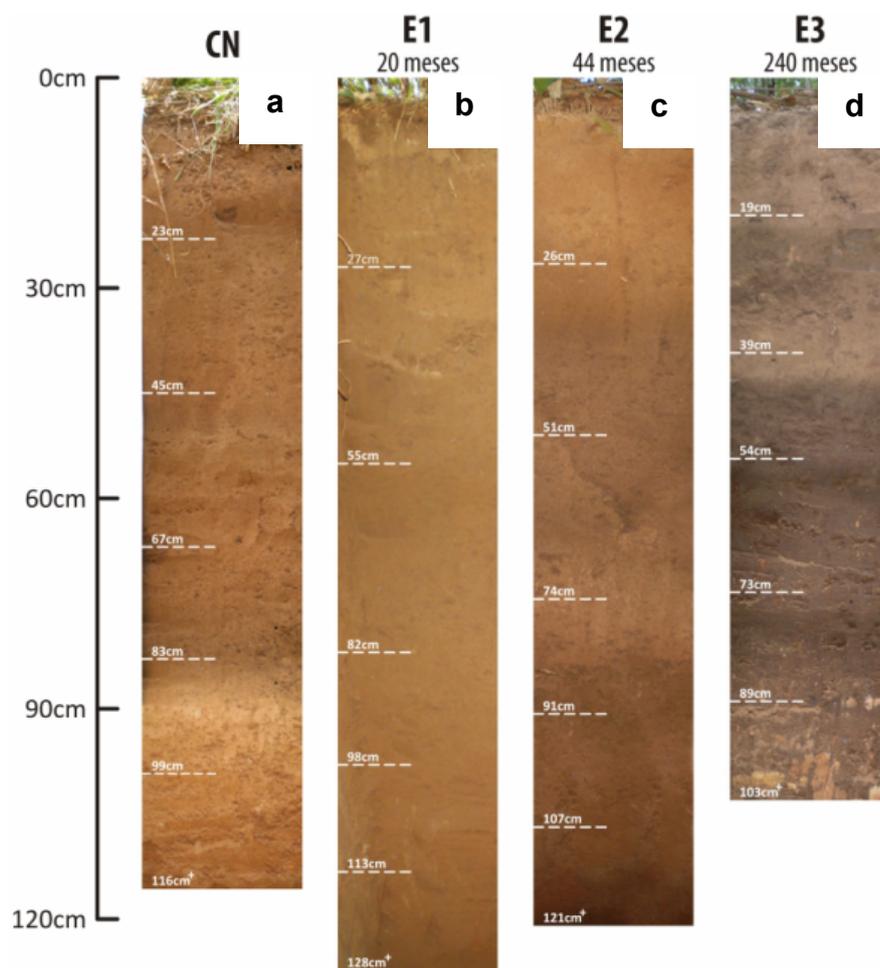


Figura 22 - Perfis de solos dos povoamentos *E. sp.* com 20 (E1: B), 44 (E2: C) e 240 (E3: D) meses de idade e campo nativo (CN: A), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Outra possibilidade pode ser devido à idade mais senil deste povoamento, sendo que estes estoques são possivelmente favorecidos pela translocação e incorporação de metabólitos e complexos de carbono em profundidade no perfil, em decorrência da atividade biológica, apesar de esta diminuir em profundidade.

No último horizonte avaliado, os tratamentos não diferiram significativamente. O estoque de carbono entre os tratamentos é confirmado pela afirmação de CHRISTIE; SCHOLLES (1995), de que nem sempre a condição de florestas estoque mais carbono que áreas de campo. Por outro lado, o maior estoque de carbono nas camadas superficiais do solo nas florestas pode ser explicado em função de a quantidade de material em decomposição ser maior, especialmente em florestas de pinus (CHRISTIE; SCHOLLES, 1995), justificado pela significativa espessura da manta em decomposição. Lima (2004), na região de Beo Oriente, encontrou que o maior teor de carbono ocorre na camada 0,0-0,05 m em função da maior presença de serapilheira na superfície quando comparado à pastagem. A serapilheira de eucalipto compensa o papel exercido pelas raízes superficiais da pastagem. Para a região de Virginópolis, a mata nativa apresentou os maiores teores de carbono total talvez em função da diversidade e da heterogeneidade do resíduo vegetal e também devido à presença de compostos mais heterogêneos. Na camada de 0,10-0,20 m, o eucalipto apresentou o maior estoque quando comparado à pastagem devido possivelmente à existência de um sistema radicular mais profundo. Para Pulrolnik (2007), o incremento dos estoques de carbono total na superfície de solos sob cultivo do eucalipto é devido à produção de serapilheira e sua decomposição lenta resultando na imobilização e estocagem nas camadas superficiais. Este autor encontrou um aumento dos estoques de carbono total até a profundidade de um metro para os cultivos de eucalipto e pastagem quando comparados ao cerrado devido ao aporte de biomassa e resíduos.

Uma possível explicação para os diferentes efeitos dos sistemas avaliados seja devido às mudanças de relevo a poucas distâncias, o que favoreça a variação de umidade no solo, apesar de os tratamentos estudados estarem sobre o mesmo tipo de solo, comprovado isto por meio do mapa de solos (Figura 2), ou ainda a possível diferença na mineralogia dos pontos de solos amostrados. Portanto estas variações de carbono poderiam ser fidedignamente referenciadas a datação do carbono, especialmente os isótopos de carbono como o ^{13}C , e aferição sobre a origem do carbono no solo, se provindo de vegetação C_3 ou C_4 . Isto possivelmente

esclareceria os elevados estoques que se fizeram presentes nas camadas superficiais nas florestas com 20 (E1) e 44 meses de idade (E2), além de que estes se apresentariam superiores ao CN, que tem uma atividade radicular mais intensa nas camadas superficiais.

Lal (2005) propõe que, ao estudar o estoque de carbono em solos de uma cronossequência de idades de florestas, devem-se considerar alguns aspectos para evitar erros como a seleção de sítios sobre o mesmo material, tipo de solo, posição na paisagem e o histórico de uso. Para este mesmo autor, as perturbações do solo geram perda nos estoques de carbono devido ao decréscimo de produção de biomassa, alterações do solo como temperatura e acentuada taxa de decomposição da matéria orgânica, e principalmente dos resíduos culturais motivados pela alteração na relação C/N, conteúdo de lignina, decréscimo da agregação e da proteção física da matéria orgânica com incremento da erosão. Na floresta, este estoque de carbono é ainda afetado por outros fatores, em especial, a precipitação, a evapotranspiração, a paisagem, em especial a inclinação influenciando no regime hídrico, a textura, bem como fatores naturais e antropogênicos (reflorestamentos), apesar de as intervenções florestais serem de menor impacto quando comparada às atividades agrícolas.

Considerando o efeito destas perturbações no teor e no estoque de carbono, Zinn et al. (2002) enfatizam que, em povoamentos de pinus e eucalipto, esta diminuição é devida ao preparo do solo, rompimento dos agregados, aeração, e exposição do carbono do solo da fração lábil à ação de microrganismos e a aceleração de sua decomposição, além da menor entrada de resíduos nos primeiros anos de desenvolvimento da floresta. Além disto, o conteúdo de argila nos primeiros 0,05 m de profundidade é fator importante no carbono orgânico do solo em reflorestamentos no cerrado.

O baixo teor e estoque de carbono no solo podem ser advindos de diversos outros fatores. Para O'Connel; Sankaran (1997) citado por Caldeira et al. (2002), destaca-se a idade do povoamento, bem como os fatores relacionados às inadequadas condições físico-químicos da liteira, do solo, condições à decomposição (déficit hídrico e temperatura), condições químicas (pH alto ou muito baixo) além das condições biológicas (menor densidade de organismos decompositores). Com estas afirmações, destacam-se as condições químicas (Tabela 2) do solo combinadas ou condicionadas ao baixo teor e estoque de

carbono quantificado no solo destes tratamentos (E1, E2, E3 e CN). As diferentes camadas apresentaram valores consideráveis de Al^{3+} trocável variando de 2,6 a 7,1, e, conforme SBCS (2004), apresentaram $pH_{\text{água}}$ baixo (5,1 a 5,4) a muito baixo, $CTC_{pH7,0}$ médio (5,1 a 15), baixos teores de matéria orgânica (<2,5%), além de uma baixa condição de fertilidade em vista dos baixos valores de cálcio ($\leq 2,0$ a $>4,0$), médio (0,6 a 1,0) a alto ($>1,0$) para o magnésio, bem como baixos valores de nitrogênio (0,044 a 0,091%), fósforo (0,64 a 2,67 $mg\ dm^{-3}$ nas camadas 1, 2 e 3 e de 0,30 a 0,99 $mg\ dm^{-3}$ nas camadas 4,5 e 6) e potássio (18,0 a 73,5 $mg\ dm^{-3}$ nas camadas 1,2 e 3 e de 23,0 a 78,5 $mg\ dm^{-3}$ nas camadas 4,5 e 6). Bohnen; Meurer; Bissani (2006) expõem que o pH em água encontrado neste solo pode ser caracterizado como extremamente ácido (<5) a muito ácido (5,0 – 5,5).

Mesmo considerando a baixa condição real de fertilidade, pode-se observar, conforme Tabela 2, que, esta baixa fertilidade dos solos tende a ser amenizada com o cultivo do eucalipto sob campo nativo, destacando a importância das florestas na busca de uma qualidade edáfica. Nesta melhoria, em todas as camadas, pode-se destacar o aumento do percentual de matéria orgânica, nitrogênio total, cálcio, magnésio, manganês, diminuição da $CTC_{pH\ 7,0}$ e a CTC_{efetiva} , mesmo havendo a diminuição dos valores de fósforo, potássio e o aumento do alumínio trocável.

Sicardi; García-Prézac; Frioni (2004) constataram que a conversão de pastagens em plantios de *Eucalyptus grandis* durante 10 anos causou um aumento da acidificação do solo, aumento do conteúdo de alumínio trocável e diminuição do conteúdo de carbono. Para Vogt et al. (1995), as condicionantes químicas ausentes em solos arenosos não garantem uma estabilização da matéria orgânica e conseqüentemente menor teor e estoque de carbono no solo. A quantidade de carbono pode ainda ser explicada pelo menor teor de bases, menor pH, maior teor de alumínio trocável bem como menor relação C/N (LELES; OLIVEIRA NETO; SILVA, 1994).

Brady; Weil (2002) encontraram que valores de pH influenciam a estabilidade do húmus, devido ao fato de a superfície dos colóides serem carregados negativamente em virtude de dissociação de cargas H^+ de grupos carboxílicos ou fenólicos, adsorvendo cátions (cálcio, hidrogênio, magnésio, potássio, etc.), trocados com a solução do solo. A mineralização e a humificação (transformação bioquímica) indicam que a decomposição da matéria orgânica do solo pode ser limitada pelo pH muito ácido, altos teores de alumínio, baixa CTC, resultando em teores de bases

trocáveis limitando a atividade biológica (MIRANDA; CANELLAS; NASCIMENTO, 2007). Bayer; Mielniczuk (2008) destacaram, entre as características químicas afetadas pela matéria orgânica, a capacidade de troca de cátions (CTC), já Binkley; Resh (1999) também citam a relação da alteração da CTC do solo à alteração do carbono no solo.

Pregitzer; Euskirchen (2004) enfatizaram que o carbono no solo é resultado da atividade dos microrganismos, mas que seu acúmulo também depende de mecanismos como a estabilização química e bioquímica, além da proteção física dependentes da paisagem e do tipo de vegetação. Além disso, outros fatores como a drenagem e a temperatura do solo são fatores determinantes no controle deste elemento no solo. Além destas relações, visando reconhecer as variações de carbono nos povoamentos florestais estudados e no campo nativo, Vogt et al. (1995) propõem que a textura pode também estar associada ao armazenamento de carbono nos solos. Para Fitzsimmons; Pennock; Thorpe (2004), a textura do solo não gera influência na variação do carbono orgânico do solo entre florestas, pastagens e áreas cultivadas em virtude de que locais com quantidades similares de argila apresentam elevados contrastes na densidade de carbono do solo estando esta relação mais associada então à variação de umidade ao longo do perfil.

Cada trincheira apresentou espessuras de camada diferenciadas em virtude da caracterização morfológica. Os tratamentos apresentaram camadas superficiais com textura arenosa a franco-arenosa, e as camadas profundas uma textura argilosa (Tabela 6).

Elencando assim a diversidade literária de posições do efeito da textura no estoque de carbono do solo, a melhor possibilidade visível pode-se ser compreendida pela distribuição dos pontos amostrais no triângulo textural típico, independente da profundidade (Figura 23), relacionando o estoque de carbono e classificação granulométrica.

TABELA 6 - Caracterização granulométrica das camadas de solo nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Tratamento	Camada (m)	AR(%)	AF(%)	S(%)	A(%)	Classe textural
E1	1 (0,00-0,27)	26,7	36,5	20,3	16,5	Franco arenoso
	2 (0,27-0,55)	27,0	35,3	17,6	20,1	Franco arenoso
	3 (0,55-0,82)	24,5	33,7	17,5	24,3	Franco argilo-arenoso
	4 (0,82-0,98)	23,4	30,3	21,4	24,9	Franco argilo-arenoso
	5 (0,98-1,13)	19,1	26,8	18,6	35,6	Franco argilo-arenoso
	6 (1,13-1,28) ⁺	18,7	23,3	17,1	41,0	Argiloso
E2	1 (0,00-0,26)	30,4	35,9	18,5	15,3	Franco arenoso
	2 (0,26-0,51)	26,5	34,1	18,4	21,0	Franco argilo-arenoso
	3 (0,51-0,74)	23,2	35,5	18,6	22,8	Franco argilo-arenoso
	4 (0,74-0,91)	19,9	33,7	17,3	29,0	Franco argilo-arenoso
	5 (0,91-1,07)	19,1	28,5	15,5	37,0	Argilo-arenoso
	6 (1,07-1,21) ⁺	16,0	24,1	14,5	46,1	Argiloso
E3	1 (0,00-0,19)	23,3	49,1	15,3	12,3	Franco arenoso
	2 (0,19-0,39)	20,3	49,5	16,2	14,1	Franco arenoso
	3 (0,39-0,54)	18,4	50,7	18,6	12,3	Franco arenoso
	4 (0,54-0,73)	14,3	31,5	14,6	39,5	Argilo arenoso
	5 (0,73-0,89)	11,4	28,9	13,4	46,3	Argiloso
	6 (0,89-1,03) ⁺	12,5	32,3	14,7	40,6	Argiloso
CN	1 (0,00-0,23)	25,5	43,1	18,3	13,1	Franco arenoso
	2 (0,23-0,45)	26,7	39,0	16,2	18,1	Franco arenoso
	3 (0,45-0,67)	23,2	42,2	18,9	15,7	Franco arenoso
	4 (0,67-0,83)	21,2	41,4	19,2	18,3	Franco arenoso
	5 (0,83-0,99)	16,8	31,0	18,0	34,2	Franco argiloso
	6 (0,99-1,16) ⁺	12,2	29,0	18,5	40,3	Argiloso

AG: areia grossa; AF: areia fina; S: silte; A: argila.

As camadas superficiais, arenosa ou franco-arenosa, neste solo, apresentaram os maiores estoques de carbono (Figura 23: pontos 1, 2, 8, 3, 7, 19), sendo a princípio referentes às profundidades ou camadas 1, 2 e 3 (E1: pontos 1,2 e 3; E2: pontos 7 e 8; E3: ponto 19), devido à camada de maior adição de resíduos e conseqüentemente de carbono no solo. Com o aumento do percentual de argila em profundidade, os estoques de carbono (Figura 23: pontos 6, 12, 23 e 24) diminuem especialmente para os tratamentos E1 (ponto 6 referente à última camada), E2 (ponto 12 referente à última camada) e CN (pontos 23 e 24 referente à quinta e sexta camadas), ocorrendo uma inversão para o tratamento E3, em que os pontos 16 e 17 apresentam os maiores valores de estoque de carbono quando comparado aos demais tratamentos (E1, E2 e CN) nestas profundidades bem como os maiores

estoques de carbono quando da avaliação do efeito da profundidade no tratamento E3, em que o ponto 15, representando a terceira camada de solo deste tratamento, teve o menor estoque de carbono de todas as profundidades e tratamentos.

Esta realidade possivelmente está condicionada também a outras características ambientais, mas em menor grau à textura destes solos dificultando a comparação a outros autores em virtude de este estudo utilizar como referencial o mesmo solo. A analogia à literatura poderia ser significativa se a comparação fosse estabelecida entre diferentes tipos de solos (variação textural) nas diferentes profundidades, que, pelas condicionantes de formação do solo (relevo, material de origem, organismos, tempo e clima), delimitam as diferentes características naturais dos solos (Figura 23).

Paul et al. (2002), avaliando diversos resultados sobre o impacto do reflorestamento no carbono do solo, enfatizam uma série de fatores que regulam a presença e a alteração de carbono em solos reflorestados como o manejo do sítio, o tipo de floresta, colheita, rotação, destacando especialmente a textura do solo. É considerado, de maneira geral, que a mudança do carbono em reflorestamentos é mais pronunciada em solos com menor conteúdo de argila. Estes autores encontraram que a camada superficial do solo (menor que 0,10 e 0,30 m) apresenta um decréscimo de carbono nos primeiros 5 anos, sendo, que após 30 anos, esta diferença foi mínima, calculando assim um tempo mínimo de 30 anos para um novo equilíbrio ser estabelecido em reflorestamentos com eucalipto.

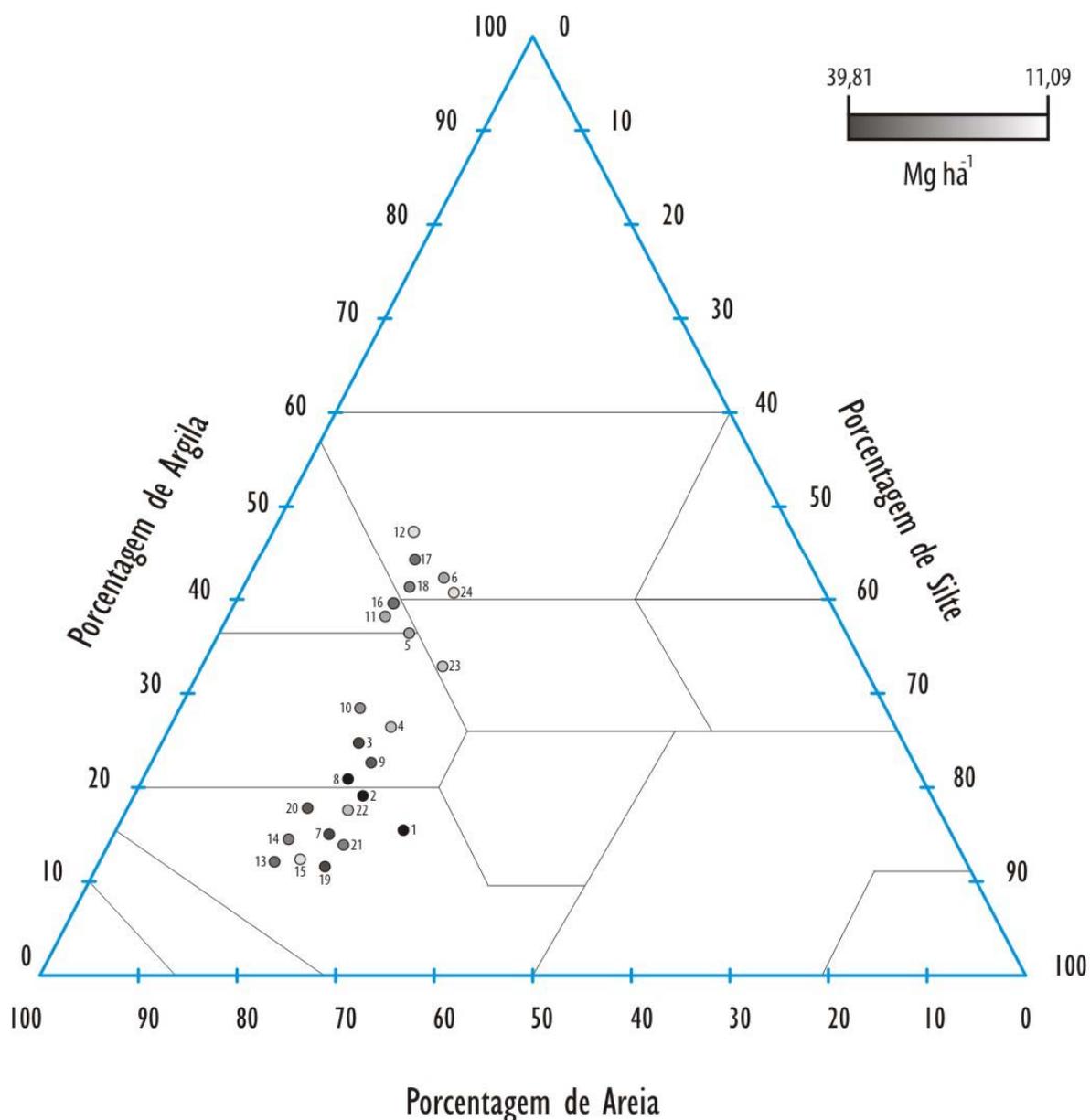


Figura 23 - Triângulo textural e o estoque de carbono (Mg ha^{-1}) nas camadas de solo nos povoamentos *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Para Silver et al. (2000), a retenção de carbono no solo também é dependente da textura do solo, sendo que o incremento linear do conteúdo de argila tem efeito positivo sobre a matéria orgânica do solo apesar de os resultados experimentais não terem gerado diferenças significativas de carbono entre solos argilosos (81 Mg ha^{-1}), e arenosos (80 Mg ha^{-1}) considerando um metro de profundidade. Neste caso, na superfície (0,0-0,1 m), os solos argilosos

apresentaram os maiores valores ($16,46 \text{ Mg ha}^{-1}$); ao contrário, nos solos arenosos, os maiores valores ocorreram abaixo de 0,5 m de profundidade ($39,28 \text{ Mg ha}^{-1}$). Para Greenland (2000), a textura influencia a aeração, as taxas de decomposição da matéria orgânica que por consequência influenciam a estrutura do solo, o movimento de água e ar. O conteúdo de argila influencia as taxas de decomposição pelo fato de a mesma afetar as propriedades de oclusão e adsorção do carbono nos poros do solo. Além disso, o conteúdo de matéria orgânica, segundo Neufeldt; Resck; Ayarza (2002), é duas vezes maior em solos argilosos quando comparado aos solos francos devido à presença dos sítios de adsorção existente na superfície das argilas.

Com base nesses resultados relativos à dinâmica do carbono no perfil do solo nos diferentes tratamentos, principalmente comparando as diferentes classes de idade dos povoamentos de *E. sp.*, pode-se inferir que de fato ocorrem alterações no estoque de carbono do solo e que o incremento em idade não necessariamente promove um aumento ou incremento deste carbono mesmo em função do expressivo montante de material detritívoro na interface ar-solo em cultivos mais senis. Os longos períodos de cultivo florestal (rotações maiores) são uma das diversas condicionantes relacionadas às práticas de manejo florestal (espaçamento, espécie, incremento e etc.) que irão expressar o instante ou idade em que a estabilidade deste ciclo volta a equilibrar os fluxos do carbono entre o solo e atmosfera, alterado principalmente pelo cultivo dos ambientes naturais.

4.6 Estoque total de carbono nos tratamentos

O estoque de carbono na substituição do campo nativo em florestas de eucalipto bem como entre as cronosequências de idades das florestas se estabelece em condições diferenciadas quando da avaliação da vegetação, material em decomposição e solo (Figura 24).

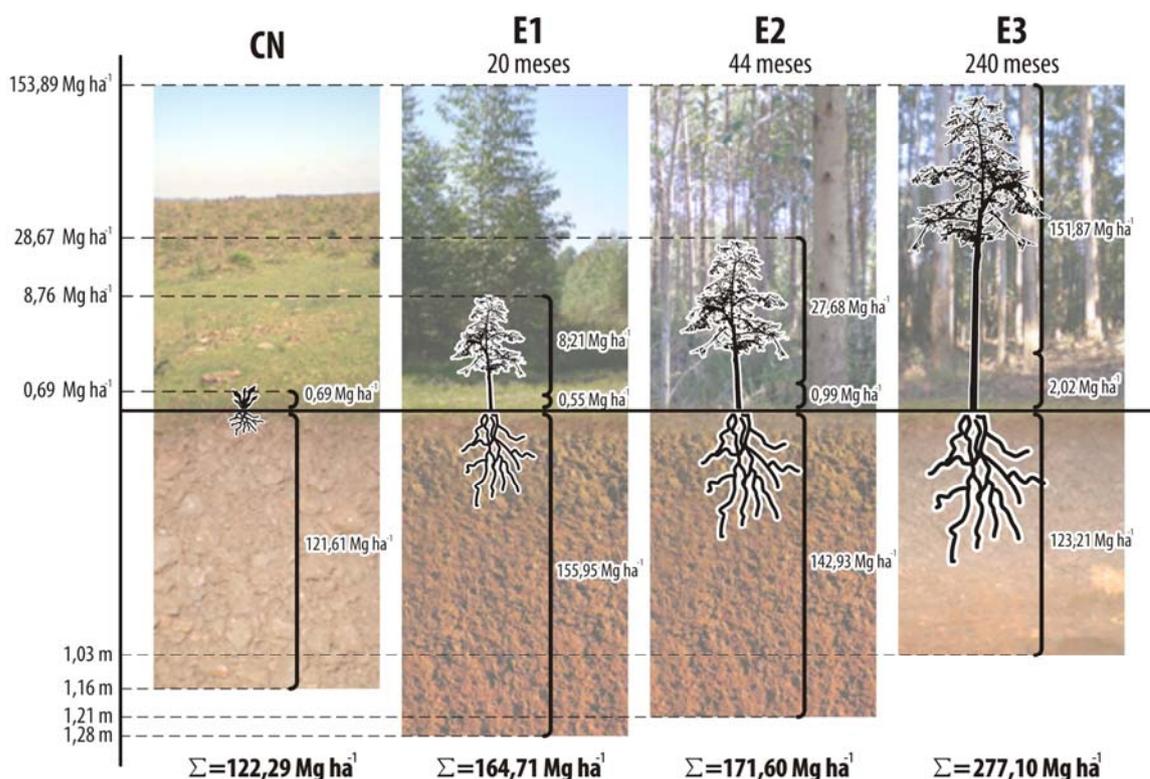


Figura 24 - Estoques médios de carbono (Mg ha^{-1}) nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN) no solo, na vegetação e no piso florestal, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Os estoques totais de carbono aumentam à medida que os povoamentos se tornam mais senis, sendo de fato superiores aos valores encontrados para o sistema nativo (CN). Para Mielniczuk (2008), as perturbações de ordem antrópica causam ao sistema nativo ou estável em geral mais perda do que ganho de carbono ao longo do tempo bem como perda da qualidade do solo.

O estoque de carbono acima do solo (vegetação e manta edáfica) aumenta nas florestas quando substituindo o campo nativo ou ainda avaliando o estoque de carbono total entre a cronosequência de idade das florestas de eucalipto bem como entre os seus diferentes compartimentos (folhas, galhos, casca e madeira). Em associação a isto, o material que recobre o solo, especialmente aquele em decomposição ou serapilheira, avaliando apenas os sistemas florestais, tende a um aumento na espessura da manta com conseqüente aumento no estoque de carbono. Em função disto, tem-se aumento gradativo e expressivo do estoque de carbono

acima do solo quando da implantação de sistemas florestais (eucalipto) sobre sistema nativo.

Pelo motivo destas constatações, tais alterações devem ser fidedignamente monitoradas e manejadas sobre o princípio da sustentabilidade e do equilíbrio para que de fato garantam o cumprimento do objetivo desejado na amenização do aumento de dióxido de carbono na atmosfera. Para o solo, a mesma realidade gradativa do estoque de carbono obtido para a vegetação não se expõe quando da substituição da vegetação nativa pelas florestas de eucalipto, nas suas diferentes idades. Por esta real totalidade, considerando o somatório total médio (vegetação + serapilheira e solo), as florestas em idade mais senis (E3) tendem a acumular maior estoque de carbono quando comparadas às florestas jovens (E1 e E2) e também expressivamente maior ao existente no ecossistema precedente (campo nativo), integrando que esta realidade é gradativa em escala para o compartimento acima do solo, mas diferentemente ao revisto para o compartimento abaixo da superfície do solo (perfil em profundidade).

Esta realidade pode ser confirmada por Pregitzer; Euskirchen (2004), reunindo uma vasta literatura a respeito do estoque de carbono nos mais diferentes ecossistemas (florestas boreais, temperadas e tropicais), incluindo espécies decíduas, coníferas de diferentes idades e localizações geográficas em diferentes compartimentos (total – acima e abaixo do solo, biomassa, horizonte orgânico e o solo). Estes autores afirmam que, independente do ecossistema, o incremento de carbono ocorre com aumento da biomassa em função do aumento da idade, indicando que as boreais apresentam um estoque médio total de 143 Mg ha^{-1} , as temperadas em torno de 239 Mg ha^{-1} e as tropicais uma média total em torno de 174 Mg ha^{-1} . Os estoques são variáveis com a idade e o tipo florestal, sendo que, nas florestas boreais, estes são maiores em idades mais senis quando comparados à idade mais jovem. Em florestas temperadas, as variações são expressivamente menores nos primeiros 4 anos, tornando-se maiores nas classes de idade mais senis, sendo que o mesmo não foi reportado para as florestas tropicais, onde a variação é menor quando comparada aos demais ecossistemas abordados, principalmente em idades mais senis. Pulrolnik (2007) destaca que do total de $166,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, 92 % do estoque de carbono foram encontrados no solo (0,0-1 m) e só 8 % na serapilheira de eucalipto. Vesterdal; Ritter; Gundersen (2002) expõem que os estoques de carbono total (solo e biomassa) nos ecossistemas de *Quercus robur* L.

e *Picea abies* (L.) Karst. incrementaram em 65 a 100 Mg ha⁻¹ após 28-29 anos de reflorestamento com estas espécies sobre áreas cultivadas, na Dinamarca. Antunes (2007) ao fazer referência ao estoque total de carbono no perfil total do solo (0,00-1,00 m), indicou que as pastagens (151,74 Mg ha⁻¹) apresentaram os maiores estoques de carbono orgânico, seguido da floresta com 20 anos de idade (148,32 Mg ha⁻¹) e, por fim, a floresta com 4,5 anos (130,33 Mg ha⁻¹).

4.7 Fracionamento físico da matéria orgânica no solo

Em uma visão geral, a quantidade de carbono total e carbono nas frações da matéria orgânica tornam mais compreensivos o efeito das mudanças que ocorrem com a matéria orgânica do solo. Para Christensen (2001), o cultivo da terra afeta a qualidade da matéria orgânica quando associado às classes granulométricas, sendo o principal efeito a alteração da quantidade deste material e sua distribuição entre as classes granulométricas. Cambardella; Elliott (1992) relatam que o cultivo do solo reduz a matéria orgânica e os nutrientes do solo, sendo esta redução principalmente na fração particulada.

O teor e o estoque de carbono associados a cada fração do solo bem como o carbono total são mostrados na Tabela 7.

TABELA 7 - Teor (g kg⁻¹) e estoque de carbono (Mg ha⁻¹) nas frações da matéria orgânica do solo nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20m, nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Tratamento	Carbono					
	Teor (g kg ⁻¹)			Estoque (Mg há-1)		
	MMO	COM	COT	MMO	COM	COT
0,0-0,10						
E1	4,14	29,34	33,48	6,19	43,79	49,98
E2	6,01	31,65	37,66	9,15	47,51	56,66
E3	4,50	27,77	32,27	6,92	42,88	49,80
CN	4,34	30,09	34,43	6,54	45,30	51,84
0,10-0,20m						
E1	1,75	20,53	22,28	2,62	30,77	33,39
E2	1,83	23,52	25,35	2,88	37,08	39,96
E3	1,01	21,33	22,34	1,58	33,04	34,62
CN	1,51	22,65	24,16	2,33	34,67	37,0

MMO: fração particulada; COM: fração associada a minerais; COT: carbono orgânico total

Considerando o carbono total obtido pela somas das frações analisadas, constata-se que este foram mais elevados na camada superficial (0,0-0,10 m), decrescendo com o aumento da profundidade (0,10-0,20 m). Tais resultados estão diretamente relacionados ao maior aporte e decomposição de resíduos nas camadas superficiais. Os estoques de carbono no material orgânico, nas camadas 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m (Tabela 7) foram superiores aos encontrados por Antunes (2007) em um povoamento de eucalipto com 13 anos de idade em Argissolo ($2,62 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $0,44 \text{ Mg ha}^{-1}$). Avaliando o teor, os resultados foram semelhantes aos encontrados por Faria et al (2008). Estudando uma floresta de eucalipto conduzida por cepas, estes autores citam valores entre $17,89$ a $30,78 \text{ g kg}^{-1}$ nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m aos 31 meses de idade e de $15,83$ a $21,50 \text{ g kg}^{-1}$ aos 54 meses de idade para as mesmas profundidades.

Os teores e estoques de carbono na matéria orgânica particulada e a matéria orgânica associada a minerais podem ser conferidos no APÊNDICE H. Estes apresentaram uma distribuição normal dos dados bem como homogeneidade de variância. Independente da camada de solo, os valores de C.V. podem ser considerados medianos para a fração MMO (> 45) e baixos para a fração COM (< 15). Pelo teste de Tukey ao nível de 5 %, nas duas profundidades (0-0,10 e 0,10-0,20 m), ambas as frações não diferiram estatisticamente, não sendo afetadas pelos tratamentos. Os maiores teores e estoques de carbono associados às duas frações da matéria orgânica ocorreram na superfície, decrescendo progressivamente na camada subsuperficial (Tabela 7 e Figura 25). Esta mesma constatação pode ser descrita por Brun (2008) avaliando o cultivo de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* em duas regiões do Rio Grande do Sul, em diferentes sistemas de manejo.

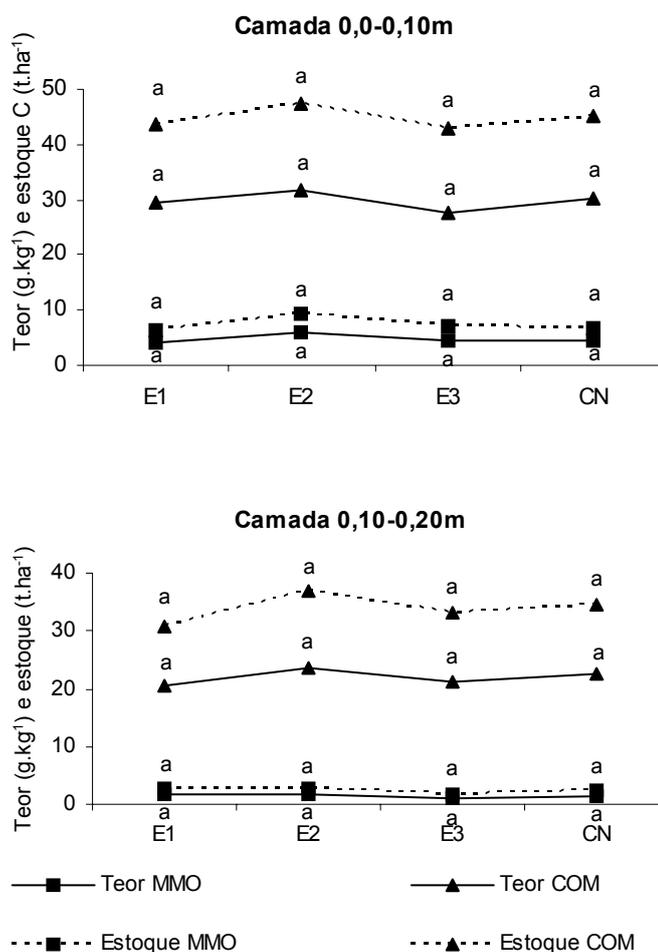


Figura 25 - Teor (g kg⁻¹) e estoque de carbono (Mg ha⁻¹) nas frações da matéria orgânica do solo nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN).

Médias seguidas por mesma letra estatisticamente não diferem entre os tratamentos pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

A fração MMO apresentou os mais baixos valores, tanto para o teor como para o estoque, independentemente do tratamento avaliado, quando comparado ao carbono agregado à fração COM. Apesar de não existir diferenças significativas, o teor e o estoque associados à fração MMO apresentaram os menores valores, os quais foram observados no povoamento com 20 meses de idade (E1) na camada 0,0-0,10 (4,14 g kg⁻¹ e 6,19 Mg ha⁻¹) e no povoamento com 240 meses de idade (E3) na camada 0,10-0,20 m (1,01 g kg⁻¹ e 1,58 Mg ha⁻¹). Os menores valores para teor e estoque associados à fração COM na camada 0,0-0,10 m está no povoamento com 240 meses de idade (E3) (27,77 g kg⁻¹ e 42,88 Mg ha⁻¹), sendo que, para a camada 0,10-0,20 m, o tratamento E1 (20,53 g kg⁻¹ e 30,77 Mg ha⁻¹) se apresenta em

evidência, com ambas as comparações relativas ao sistema nativo (CN). Em contrapartida, o povoamento com 44 meses de idade (E2) apresentou, apesar de não existir diferenças significativas entre tratamentos, os maiores valores de teor e estoque associados às duas frações em ambas as profundidades. Esta constatação pode estar associada à evolução do uso e cultivo do solo especialmente pela entrada constante de material orgânico e produção de exsudatos radiculares e diretamente relacionado, em curto prazo, às frações mais lábeis, como a fração particulada ou associada à areia.

Para Medham et al. (2004), a fração da matéria orgânica particulada contém mais de 60 % do carbono total do solo, sendo que os solos das plantações de *Eucalyptus globulus* foram os que tiveram a maior proporção de carbono nesta fração quando comparados ao campo. Estes mesmos autores ainda enfatizam que a degradação do carbono desta fração é devido à menor proteção física das partículas. Guggenberger; Zech (1999) acreditam que a fração particulada tem uma diminuição, sendo que a fração associada a minerais é pouco afetada quando da substituição de floresta natural por agricultura na Costa Rica. Chan (1997); Bayer et al. (2001) e Brun (2008) indicam que a fração particulada é indicadora sensível das práticas de manejo do solo, pois, para BAYER et al. (2001), o carbono associado à fração mineral está mais protegido fisicamente.

Boeni (2007), avaliando diferentes cultivos em diferentes locais, encontrou que a fração associada a minerais foi a que apresentou a maior percentagem de carbono, visto que a presença de argila está diretamente associada à estabilização do carbono no solo. Para Lal (2005), a fração particulada é fração mais influenciada pelo manejo florestal. A mesma realidade de proteção e alteração pelo manejo da fração associada a minerais é citada por Brun (2008), o qual encontrou valores intermediários para esta fração comparando floresta nativa e florestas de pinus em Cambissolo e Argissolo.

Para Sá et al. (2001), os teores de carbono em todas as profundidades incrementaram na fração silte+argila devido à complexação com estas frações. Rangel; Silva (2007) também consideram que as frações silte+argila possuem a maior percentagem de material orgânico e de carbono associada devido à área superficial específica e à carga superficial. Freitas et al. (2000), comparando diferentes sistemas de uso do solo, verificaram também que os maiores estoques de carbono podem ser encontrados na fração silte+argila, sendo estes maiores na

camada 0,10-0,20 m. Roscoe; Machado (2002), relacionando diferentes solos de clima tropical e temperado, encontraram que estas mesmas frações se associam a maior parte do carbono dos solos, caracterizado por um material mais transformado quando comparado à fração macro-orgânica constituída de resíduos orgânicos em estágios iniciais de decomposição. Balabane; Plante (2004), estudando a agregação e a dinâmica de carbono nestas hierarquias estruturais, encontraram que 77 a 78 % do carbono está associado à fração argila, e o restante à fração silte, não diferindo entre solos cultivados e não cultivados.

O tratamento E3, apresentou os baixos valores de teor e estoque de carbono associados à fração mineral (COM) na camada superficial (0,0-0,10 m) e na fração particulada (MMO) na camada subsuperficial (0,10-0,20 m) quando comparado ao sistema nativo (CN). Neste caso, em que o carbono provavelmente tenha sido recuperado com a deposição e decomposição dos resíduos depositados na superfície do solo ao longo do cultivo da floresta. O cenário resultante na subsuperfície (0,10-0,20 m) deste mesmo tratamento pode ser devido à menor translocação de carbono dado a menor movimentação da comunidade biológica transportadora de resíduos. Isso ocorre possivelmente como resposta da intervenção silvicultural como os desbastes, que podem ter dificultado a recuperação do equilíbrio.

Para Lima (2004), o estoque de carbono na fração areia nas camadas 0,10-0,20 m diminui nos primeiros anos de cultivo do eucalipto, mas com tendência de recuperação com o passar dos anos, o que comprova que o carbono associado às frações mais finas do solo é menos susceptível às alterações do uso do solo. Balesdent et al. (1998), estudando um solo com cultivo florestal, observaram que a distribuição do carbono foi alterada nas diferentes frações, sendo que, após 35 anos de cultivo, o carbono associado à fração argila era aumentado possivelmente pela decomposição do material mais lábil.

No tratamento E1, os menores valores de teor e estoque de carbono associados à fração MMO na camada 0,0-0,10 m e para a fração COM na camada 0,10-0,20 m podem ser interpretados como uma resposta do sistema em virtude do preparo antropogênico e mecânico do solo para o plantio realizado recentemente (2006), o que alterou a característica original do ecossistema quando comparado ao sistema nativo (CN). Para Six et al. (1998), o preparo do solo e o cultivo intenso alteram o chamado “*turnover*” da matéria orgânica devido à desestabilização da

estrutura edáfica, em função da ruptura dos agregados além da exposição deste material às condições de temperatura, aeração, entre outras. A realidade de diminuição de matéria orgânica e carbono no solo se dá também pela redução da entrada de material vegetal orgânico devido à remoção da biomassa acima do solo em função da substituição da vegetação natural, corte e queima dos resíduos culturais (ASHAGRIE et al., 2007). Guggenberger; Zech (1999) esclarecem que o incremento da matéria orgânica associada à fração particulada ocorre pelas taxas do ciclo da serapilheira e pela deposição de raízes. Para Six; Elliott; Paustian (1999), o material orgânico associado à fração areia tem suas taxas de decomposição afetadas pela entrada e qualidade dos resíduos, mas também pelas condições climáticas do solo quando se comparam aos locais nativos, além da arquitetura das raízes, sendo que as frações finas são afetadas pela agregação, temperatura do solo, qualidade e entrada de resíduos. Em virtude disto, as maiores alterações do carbono ocorrem em solos com característica arenosa, ou franco-arenosa, cuja proteção física da matéria orgânica é menor.

Apesar de não existir diferença significativa entre tratamentos para as frações em cada profundidade, em síntese, compreende-se a resposta do tratamento E2, aos maiores valores de carbono associados às duas frações. Isto possivelmente esteja indicando o estágio de recuperação da ação do plantio quando comparado ao sistema recém implantado (E1), e de estar iniciando a formação de uma camada de resíduo em decomposição, alimento para uma comunidade do solo. Comparado ao tratamento E3, pelo histórico de uso e ocupação, o tratamento E1 ainda não sofreu qualquer tipo de intervenção silvicultural, desbaste, corte ou desrama, que possa causar alguma deterioração ambiental na conquista e manutenção da estabilidade dos compartimentos armazenadores de carbono. A realidade de alteração dos ambientes, considerando a formação e a manutenção de manta superficial, é apresentada também por Bayer et al. (2004), avaliando a intercalação de espécies outonais com culturas comerciais em plantio convencional e direto. Para Conceição et al. (2005), apesar de a fração associada a minerais também ser alterada pelo manejo, somente a fração particulada apresentou diferença significativa entre os sistemas de manejo avaliados no Rio Grande do Sul

5 CONCLUSÕES

- A produção do material arbóreo florestal e campestre vivo, agregado ao material em decomposição, bem como o seu estoque de carbono, sobremaneira, aumentam quando da substituição da vegetação nativa de campo para as florestas de eucalipto, adquirindo expressividade no decorrer do crescimento e do desenvolvimento das florestas;
- Os maiores estoques de carbono estão no componente madeira e casca, com a idade das florestas tendendo à diminuição para as componentes folhas e galhos, as quais serão depositadas e acumuladas aumentando a massa em decomposição na superfície do solo;
- O teor e o estoque de carbono no solo são baixos, indicando que o crescimento das florestas de eucalipto em substituição à vegetação nativa de campo não agregou um aumento significativo, ao contrário das constatações no componente vegetal;
- A fração matéria orgânica particulada foi a mais sensível às variações de idade de povoamento, e a menor sensibilidade foi para a fração associada aos minerais do solo;
- A implantação de florestas em campo nativo não causou variações significativas nas propriedades físicas.

6 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: Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis, 1988. 75 p.

ANDRADE, N. **O Eucalipto**. 2. ed. São Paulo: FAO, 1961. 600 p.

ANDRAE, F.; KRANPFENBAUER, A. Estudo da situação de biomassa e de nutrientes de um reflorestamento de quatro anos com *Eucalyptus saligna* em Santa Maria, RS. In: ANDRAE, F.; KRANPFENBAUER, A. (Eds.). **Pesquisas austríaco-brasileiras**, Wien, 1983. 112 p.

ANTUNES, L. O. **Estoque e labilidade da matéria orgânica em um argissolo sob sistemas de produção de eucalipto**. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

ASHAGRIE, Y. et al. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forest to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 1/2, p. 101-108, May/Jun. 2007.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS G. A. et al. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.

BAYER, C. et al. Change in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 1473-1478, Sept./Oct. 2001.

BAYER, C. et al. Carbon stocks in organic matter fraction an affected by land use and soil management, with emphasis on-tillage effect. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 401-406, maio/jun. 2002.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, jul. 2004.

BALABANE, M; PLANTE, A. F. Aggregation and carbon storage in silt soil using physical fractionation techniques. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 55, n. 2, p. 415-427, Apr./Jun. 2004.

BALBINOT, R. et al. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 59-68, jan./jun. 2003.

BALBINOT, R. et al. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no sul do estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 317-324, abr./jun. 2008.

BALESDENT, J. et al. The dynamics of carbon in particle-size fractions of soil in a forest cultivation sequence. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 201, n. 1, p. 49-57, Apr. 1998.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 3/4, p. 215-230, Feb. 2000.

BARRETO, P. A. B. et. al. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em seqüência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 611-619, mar./abr. 2008.

BASHKIN, M. A.; BINKLEY, D. Changes in soil carbon following afforestation in Hawaii. **Ecology**, Durham, v. 79, n. 3, p. 828-833, Apr. 1998.

BINKLEY, D. et al. Age-related decline in forest ecosystem growth: and individual tree, stand-structure hypothesis. **Ecosystems**, New York, v. 5, n. 1, p. 58-67, Jan. 2002.

BINKLEY, D.; RESH, S. C. Rapid changes in soil following eucalyptus afforestation in Hawaii. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 63, n. 1, p. 222-225, Jan./Feb. 1999.

BOENI, M. **Proteção física da matéria orgânica em Latossolos sob sistemas com pastagens na região do cerrado brasileiro**. 2007. 152 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional decidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BOHNEN, H.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. (Eds.). **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p.163-184.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. 3rd ed. New Jersey: Pearson Education, 2002. 960p.

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. (Boletim técnico, 30).

BRUN, E. J. **Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* em duas regiões do Rio Grande do Sul**. 2008. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Carbono orgânico em solos florestais. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. p.191-214.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777-783, May/Jun. 1992.

CAMPBELL, C. A. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. In: SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. (Eds.) **Soil Organic Matter**. Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978. chap. 5. p.173-271.

CERRI, C. C. et al. **Emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem**: relatório de referência – primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Brasília, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. 55 p.

CHAN, K. Y. Consequences of change in particulate organic carbon in Vertisols under pasture and cropping. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 61, n. 5, p.1376-1382, Sept./Oct. 1997.

CHANG, M. Y. Sequestro florestal de carbono no Brasil – Dimensões políticas, sócioeconômicas e ecológicas. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. (Eds.). **Fixação de carbono**: atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba, 2004. p.15-37.

CHAPIN, F. S. et al. Reconciling carbon-cycle concepts, terminology, and methods. **Ecosystems**, New York, v. 9, n. 7, p.1041-1050, Nov. 2006.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, Madison, v. 52, n. 3, p. 345-353, Sept. 2001.

CHRISTIE, S. I.; SCHOLLES, R. J. Carbon storage in eucalyptus and pine plantations in South Africa. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 38, n. 2/3, p. 231-241, Jan. 1995.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 777-788, mar./abr. 2005.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS G. A. et al. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 10. p. 137-158.

COSTA, F. S. et al. Aumento da matéria orgânica em um Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 587-589, mar./abr. 2004.

COSTA, F. S.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C. Emissões de gases de efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS G. A. et al. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 28. p. 545-560.

COSTA-LIMA, V. et al. Efeito da substituição de campo natural por Pinus na dinâmica do carbono no solo. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 14, n. 1/2, p. 7-12, jan./fev. 1995.

CRASWELL, E. T.; LEFROY, R. D. B. The role and function of organic matter in tropical soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, n. 1/2, p. 7-18, Sept. 2001.

DEMOLINARI, M. S. M. et al. Efeito da solução de separação densimétrica na quantidade e qualidade da matéria orgânica leve e na quantificação do carbono orgânico da fração pesada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 871-879, mar./abr. 2008.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. 165 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DUDAL, R.; DECKERS, J. Soil organic matter in relation to soil productivity. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Eds.). **Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture**. New York: Other Wiley, 1991. p. 377-380.

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

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FALLON, P. D.; SMITH, P. Modelling refractory soil organic matter. **Biology & Fertility of Soils**, Berlin, v. 30, n. 5/6, p. 388-398, Mar. 2000.

FARIA, et al. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica em diferentes distâncias da cepa de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 259-266, jul./set. 2008.

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

FITZSIMMONS, M. J.; PENNOCK, D. J.; THORPE, J. Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canadá. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 188, n. 3, p. 349-361, Jan./Apr. 2004.

FLORIANO, E. P. et.al. **SAS: O essencial da linguagem**. 2. ed. Santa Maria: UFSM/PPGEF-PPGMQ, 2007. 211 p.

FREITAS, R. A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden plantado em solo sujeito à arenização, no município de Alegrete-RS**. 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FREITAS, P. L. et al. Nível e natureza do estoque orgânico em latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, jan. 2000.

GOLCHIN, A. et al. Study of free and occluded particulate organic matter in soil by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 32, n. 2, p. 285-309, 1994.

GOLCHIN, A.; BALDOCK, J. A.; OADES, J. M. Model linking organic matter decomposition chemistry, and aggregate dynamics. In: LAL, R. et al. (Eds.). **Soil Process and the Carbon Cycle**. Ohio: Ohio State University; CRC Press, 1998. 609 p. p. 245-266. (Série Advances in soil science).

GOMES, A G.; VARRIALLE, M. C. **Modelagem de ecossistemas**: uma introdução. Santa Maria: Editora da Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 504 p.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição de árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 1-58.

GOUVEIA, V. M.; ÂNGELO, H. Análise econômica do serviço de fixação e armazenamento de carbono por um povoamento de *Tectona grandis* L. F. **Brasil Florestal**, Brasília, n. 74, n. 21, p. 23-36, 2002.

GREENLAND, D. J. Land use and soil carbon in different agroecological zones. In: LAL, R. et al. (Eds.). **Soil Management and Greenhouse Effect**. Flórida: CRC Press, 2000. p. 9-24.

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

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS G. A. et al. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 13. p.185-200.

GUGGENBERGER, G.; ZECH W; Soil organic matter composition under primary forest, pasture, and secondary forest succession, Region Huetar Norte, Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 124, n. 1, p. 93-104, Nov. 1999.

GUO, L. B.; GIFFORD, M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, Oxford, v. 8, n. 4, p. 345-360, Abr. 2002.

HASSE, G. **Eucalipto**: histórias de um imigrante vegetal. Porto Alegre: JA Editores, 2006. 127 p.

HASSINK, J.; WHITMORE, A. P. A model of the physical protection of organic matter in soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 131-139, Jan./Feb. 1997.

JANZEN, H. H. et al. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 56, n. 6, p. 1799-1806, Nov./Dec. 1992.

JONHSON, D. W. Effects of management on soil carbon storage. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 64, n. 1/2, p. 83-120, Aug.1992.

JOHNSON, M. G. The role of soil management in sequestering soil carbon. In: LAL, R. et al. (Eds.). **Soil management and Greenhouse Effect**. Florida: CRC Press, 1995. p. 351-363.

JOHNSON, D. W.; HENDERSON, P. Effects of forest management and elevated carbon dioxide on soil carbon storage. In: LAL, R. et al. (Eds.). **Soil Management and Greenhouse Effect**. Florida: CRC Press, 1995. p.137-145.

KAY, B. D. Soil structure and organic carbon: a review. In: LAL, R. et al. (Eds.). **Soil Process and the Carbon Cycle**. Ohio: Ohio State University; CRC Press, 1998. 609 p. p. 169-197. (Série Advances in soil science).

KONONOVA M. M.; NOWAKOWSKI T. Z.; NEWMANN A. C. D. **Soil organic matter**: its Nature, its Role in Soil Formation and in Soil Fertility. 2nd ed. Oxford: Pergamon Press, 1966. 544 p.

KÖRNER, C. Ecological impact of atmospheric CO₂ enrichment on terrestrial ecosystems. **Royal Society of London Transactions Series A**, v. 361, p. 2023-2041, 2003.

KÖRSCHENS, M. Effect of different management systems on carbon and nitrogen dynamics of various soil. In: LAL, R.; et al. (Eds.). **Management of Carbon Sequestration in Soil**. New York: CRC Press, 1996. p. 297-304.

KRUG, T. Contribuição do IPCC para o inventário de gases de efeito estufa relacionados ao uso da terra, mudança no uso da terra e floresta. In: SANQUETTA, C.R.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. (Eds.). **Fixação de carbono**: atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba, 2004. p. 63-75.

LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of Eucalyptus in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, n. 3, p. 181-196, Apr. 2000.

LAL, R. Soils and the greenhouse effect. In: LAL, R.; MALWEENY K. (Eds.). **Soil Carbon Sequestration and Greenhouse Effect**. Madison: Soil Science Society of America, n. 57, 2001a, p. 1-8.

LAL, R. Myths and Facts about soils and the Greenhouse Effect. In: LAL R.; MALWEENY K. (Eds.). **Soil Carbon Sequestration and Greenhouse Effect**. Madison: Soil Science Society of America, n. 57, 2001b, p. 9-25.

LAL, R. The potential of Soil Carbon Sequestration in Forest Ecosystems to Mitigate the Greenhouse Effect. In: LAL R.; MALWEENY K. (Eds.). **Soil Carbon Sequestration and Greenhouse Effect**. Madison: Soil Science Society of America, n. 57, 2001c, p. 137-154.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1/2, p. 1-22, Nov. 2004.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 220, n. 1/3, p. 242-258, Dec. 2005.

LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLET, R. F. Pedospheric process and the carbon cycle. In: LAL, et. al. (Eds.). **Soil Process and the Carbon Cycle**. Ohio: Ohio State University; CRC Press, 1998. 609 p. p. 1-10. (Série: Advances in Soil Science).

LEITE, L. F. C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, set./out. 2003.

LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; SILVA, E. **Captura e fluxo de CO₂ atmosférico pelas florestas plantadas e manejadas**. Viçosa, 1994. 13 p. set. (Boletim Técnico - SIF, n. 7).

LIMA, A. M. N. **Estoques de carbono e frações da matéria orgânica do solo sob povoamentos de eucalipto no Vale do Rio Doce – MG**. 2004. 130 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade Federal de São Paulo, 1996. 301 p.

LOPES, D.; ARANHA, J. Avaliação do conteúdo de carbono na matéria seca de diferentes componentes de árvores de *Eucalyptus globulus* e de *Pinus pinaster*. **Revista Silva Lusitânica**, Lisboa, v. 14, n. 2, p. 149-154, Dez. 2006.

MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo**: um procedimento para a estimativa pormenorizada do seqüestro de carbono pelo solo. Rio de Janeiro, 2002. 6 p. (Comunicado técnico, n. 9).

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, mar./abr. 2005.

MAFRA, A. L. et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 217-224, mar./abr. 2008.

MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D.; JARVIS, P. G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 22, n. 6, p. 715-740, Jun., 1999.

MALHI, Y.; MEIR, P.; BROWN, S. Forests, carbon e global climate. **Philosophical Transaction of the Royal Society of London Series A – Mathematical, Physical and Engineering**, v. 360, p. 1567-1591, Aug. 2002.

MAQUERE, V. et al. Influence of land use (savanna, pasture, *Eucalyptus* plantations) on soil carbon and nitrogen stocks in Brazil. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 59, n. 5, p. 863-877, Aug. 2008.

MEDHAMM, D. S. et al. Soil particulate organic matter effects on nitrogen availability after afforestation with *Eucalyptus globulus*. **Soil Biology and Biogeochemistry**, Amsterdam, v. 36, n. 7, p. 1067-1074, Jul. 2004.

MELLO, F. F. C. **Estimativas dos estoques de carbono nos solos nos estados de Rondônia e Mato Grosso anteriores à intervenção antrópica**. 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

METHERELL, A. K. et al. **CENTURY Soil Organic Matter Model Environment**. Colorado: Great Plains System Research Unit, 1993. 248 p.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Editora Genesis, 2000. 174 p.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS G. A. et al. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 1. p. 1-5.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 209-248. v. 3.

MIRANDA, C. C. **Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto, Reserva Biológica União, RJ**. 2005. 82 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro.

MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 905-916, set./out. 2007.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 73 p.

NABUURS, G. J.; MOHREN, G. M. J. Modelling analysis of potencial carbon sequestration in selected forest types. **Canadian Journal Forest Research**, Ottawa, v. 25, n. 7, p. 1157-1172, Jul. 1995.

NEUFELDT, H.; RESCK, D. V. S.; AYARZA, M. A.; Texture and land use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 107, n. 3-4, p. 151-164, Jun. 2002.

NICOLOSO, R. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

NILSSON, S.; SCHOPFHAUSER, W.; The carbon-sequestration potential of a global afforestation program. **Climate Change**, v. 30, n. 3, p. 267-293, Jul. 1995.

NISHI, M. H. Aspectos relacionados ao plantio de florestas exclusivamente para o seqüestro de carbono. **Mosaicum**, Teixeira de Freitas, n. 1, p. 71-81, jan./jul. 2005.

NUTTO, L. et al. O mercado internacional de CO₂: o impacto das florestas naturais e das plantações. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. p. 89-108.

OLSZEWSKI, N. et al. Estimativa do estoque de carbono em unidades geoambientais da bacia hidrográfica do Rio Preto. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 56-64, jul./dez. 2007.

PAUL, K. I. et al. Change in soil carbon following afforestation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 168, n. 2/3, p. 241-257, Jun. 2002.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Carbon cycling and soil organic matter. In: PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1996. 340 p.

PAUL, K. I.; POLGLASE, P. J.; RICHARDS, G. P. Sensitivity analysis of predicted change in soil carbon following afforestation. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 164, n. 2/3, p. 137-152, Jun. 2003.

PENMAN, J. et al. (Eds.) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Kanagawa: IPCC, 2003.

POGGIANI, F. Florestas para fins energéticos e ciclagem de nutrientes. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. 1-11, jul. 1980.

POST, W. M.; KWON, K. C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. **Global Change Biology**, Oxford, v. 6, n. 3, p. 317-327, Mar. 2000.

PREGITZER, K. S.; EUSKIRCHEN, E. S. Carbon cycling and storage in world forest: biome patterns related to forest age. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 12, p. 2052-2077, Dec. 2004.

PREVEDELLO, J. **Preparo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. em Argissolo.** 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PREVEDELO, C. L. **Física do solo.** Curitiba: C.L. Prevedelo, 1996. 446 p.

PULROLNIK, K. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo de plantações de eucalipto em área de cerrado.** 2007. 85 p. Tese (Doutorado em Ciências do Solos e Nutrição de Plantas). - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres - Potafos, 1991. 343 p.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, nov./dez. 2007.

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. p. 49-134. v. 5.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Orgs.) **Relação solo-eucalipto.** Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p.265-301.

RIBEIRO, K. D. et al. Propriedades físicas do solo influenciadas pela distribuição de poros de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, jul./ago. 2007.

RICKELFS, R. E. **A economia da natureza.** 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1996. 470 p.

RYAN, M. G. et al. An experimental test of the causes of forest growth decline with stand age. **Ecological Monographs**, Lawrence, v. 74, n. 3, p. 393-414, Jul./Sept. 2004.

ROSCOE, R. Rediscutindo o papel dos ecossistemas terrestres no seqüestro de carbono. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 209-223, mai./ago. 2003.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 88 p.

SÁ, J. C. M. et al. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, Sept./Oct. 2001.

SAMPSON, R. N. The role of forest management in affecting soil carbon: policy considerations. In: LAL, R. et al. **Soil Management and Greenhouse Effect**. Florida: CRC Press, 1995. p. 339-350.

SANQUETTA, C. R. et al. Proposta metodológica para quantificação e monitoramento do carbono estocado em florestas plantadas. In: SANQUETTA, C. R.; ZILLIOTTO, M. A. B. (Eds.). **Carbono Ciência e Mercado Global**. Curitiba, 2004. 241-265 p.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. p. 119-140.

SANTANA, R. C. et al. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 697-706, jul./ago. 2008.

SANTOS, E. O. **Contribuição ao estudo do fluxo de dióxido de carbono dentro da Floresta Amazônica**. 1999. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência em Engenharia Mecânica). - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do solo: Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

SBS. Sociedade Brasileira de silvicultura. **Fatos e números do Brasil florestal**. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>, 2006. Acesso em: 13 Julho 2008.

SCARPINELLA, G. D. A. **Reflorestamento no Brasil e o protocolo de Quioto**. 2002. 182 f. Dissertação (Mestrado em Energia). - Universidade de São Paulo, São Paulo.

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

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

SCHOLES, M. C.; POWLSON, D.; TIAN, G.; Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, n. 1/4, p. 25-47, Sept., 1997.

SCHUMACHER, M. V. et al. Estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda* L. e *Acacia mearnsii* De Wild. plantadas no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. In: SANQUETTA, C.R.; et al. **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. p. 141-152.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, São Paulo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21-34, jan./dez., 1993.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa de biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) su-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, jan./jun., 2001.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. Inventário de carbono em povoamentos de *Eucalyptus* ssp. nas propriedades fumageiras do sul do Brasil: "Um estudo de caso" In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. (Eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba, 2004. p. 111-124.

SETTE JUNIOR, C. R.; NAKAJIMA, N. Y.; GEROMINI, M. P. Captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Rio Negrinho, SC. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 33-44, jan./abr. 2006.

SICARDI, M.; GARCÍA-PRÉCHAC, F.; FRIONI, L. Soil microbial indicators sensitive land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex. Maiden) plantations in Uruguay. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 27, n. 2, p. 125-133, Oct. 2004.

SILVA, M. A. S. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 544-552, mai./jun. 2005.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Eds.). **Biologia dos cerrados**. Planaltina: CPAC, 1997. p. 465-524.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185-206, jan./mar. 2008.

SILVER, W. L. et al. Effects of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in a Lowland Amazonian Forest Ecosystem. **Ecosystems**, New York, v. 3, n. 2, p. 193-209, Mar. 2000.

SIX, J. et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 62, n. 5, p. 1367-1377, Sept./Oct. 1998.

SIX, J. et al. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 66, n. 6, p. 1981-1987, Nov./Dec. 2002.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 63, n. 5, p. 1350-1358, Sept./Oct. 1999.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 533-539, set./out. 2002.

SOIL, SURVEY STAFF. **Soil Taxonomy**: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd ed. Washington DC: U.S. Government Printing Office, 1999. 871 p. (Agriculture Handbook n. 436).

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, Amsterdam, v. 74, n. 1/2, p. 65-105, Nov. 1996.

SOPHER, C. D.; BAIRD, J. V. **Soil & Soil Management**. 2nd ed. New Jersey: A Reston Book, 1982. 312 p.

SPECHT, A.; WEST, P. W. Estimation of biomass and sequestered carbon on farm forest plantations in northern New South Wales, Australia. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v. 25, n. 4, p. 363-379, Oct. 2003.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/ASCAR-RS, 2008. 222 p.

SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade físico-hídrica de um Argissolo sob floresta e pastagem no sul do Brasil**. 2008. 138 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SWIFT, M. J.; WOOMER, P. Organic matter and the sustainability of agricultural systems: definition and measurement. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Org.). **Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture**. New York: Other Wiley, 1991. p. 3-18.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p.

TIBAU, A. O. **Matéria orgânica e fertilidade do solo**. 2. ed. São Paulo: Editora Nobel, 1983. 220 p.

TURNER, J.; LAMBERT, M. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 133, n. 3, p. 231-247, Aug. 2000.

TURNER, J.; LAMBERT, M. J. Litterfall and forest floor dynamics in Eucalyptus pilularis forests. **Austral Ecology**, Carlton, v. 27, n. 2, p. 192-199, Abr. 2002.

URBANO, E. **Quantificação e estimativa da biomassa aérea e do carbono fixado em árvores de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

VESTERDAL, L.; RITTER, E.; GUNDERSEN, P. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 169, n. 1-2, p. 137-147, Sept. 2002.

VEZZANI, F. M. et al. Matéria orgânica e qualidade do sítio. In: SANTOS et al. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap 25. p. 483-494.

VITAL, M. H. F. O impacto ambiental das florestas de eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-267, dez. 2007.

VOGT, K. A. et al. Dynamics of forest floor and soil organic matter accumulation in boreal, temperate, and tropical forests. In: LAL, R. et al. (Eds.). **Soil Management and Greenhouse Effect**. Flórida: CRC Press, 1995. p.159-178.

WANG, X. et al. The impact of human disturbance on vegetative carbon storage in forest ecosystems in China, **Forest Ecology and Management**, v. 148, n. 1/3 p. 117-123, Jul. 2001.

WANG, S. et al. Vertical distribution of soil organic carbon in China. **Environment Management**, New York, v. 33, p. 200-209, 2004. Suplemento 1.

WAGNER, G. H.; WOLF, D. C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D. M. et al. **Principles and Application of Soil Microbiology**, New Jersey, 1998. p. 218-258.

WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W.; Teores de carbono em espécies da floresta ombrófila mista. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. (Eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba, 2004a. p. 95-110.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; COUTO, L. C.; SANTOS, R. T. Estimativa de biomassa e carbono em plantios de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze utilizando imagens do satélite Ikonos II. **Biomassa & energia**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 209-219, 2004b.

YANAI, R. D.; CURRIE, W. S.; GOODALE, C. L. Soil carbon dynamics after forest harvest: an ecosystem paradigm reconsidered. **Ecosystems**, New York, v. 6, n. 3, p. 197-212, Jun. 2003.

ZINN, Y. L. et al. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 166, n. 1-3, p. 285-194, Aug. 2002.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Análise de variância para a massa seca total (Mg ha^{-1}), com dados na base logarítmica natural para os povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr>F
Tratamento	3	35,2194	11,7389	9,65	0,0049
Erro	8	9,7282	1,2160	---	---
Total	11	44,9475	---	---	---
C.V. (%)			36,14		

APÊNDICE B - Análise de variância para o estoque de carbono na massa seca total (Mg ha^{-1}), com dados na base logarítmica natural para os povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr>F
Tratamento	3	24,1831	8,0610	7,49	0,0104
Erro	8	8,6051	1,0756	---	---
Total	11	32,7882	---	---	---
C.V. (%)			41,09		

APÊNDICE C - Correlação linear de Pearson para a massa seca (Mg ha^{-1}) e carbono (Mg ha^{-1}) de folhas, galhos, casca e madeira em função da idade dos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Matéria seca e Idade	r	Pr	Carbono e Idade	r	Pr
F x I	0,0990	0,8000	F x I	0,0992	0,7995
G x I	0,5620	0,1153	G x I	0,5620	0,1153
LN (G) x I	0,4977	0,1727	G1 x I	0,5054	0,1652
C x I	0,6212	0,0741	C x I	0,6212	0,0742
LN (C) x I	0,6131	0,0792	C1 x I	0,6201	0,0748
M x I	0,6289	0,0696	M x I	0,6289	0,0696
LN(M) x I	0,6712	0,0478	LN(M) x I	0,6750	0,0461

F: folhas; G: galhos; C: casca; M: madeira; LN: logaritmo natural; I: idade (meses); r: valor da correlação linear de Pearson; Pr: probabilidade da correlação.

APÊNDICE D - Análise de variância para a massa seca no piso florestal (Mg ha^{-1}) nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr>F
Tratamento	2	48,5218	24,2609	243,90	<0,0001
Erro	21	2,0889	0,0995	---	---
Total	23	50,6107	---	---	---
C.V. (%)			11,57		

APÊNDICE E - Análise de variância para o estoque de carbono do piso florestal (Mg ha⁻¹) nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade, Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr>F
Tratamento	2	9,1620	4,5810	201,64	<0,0001
Erro	21	0,4771	0,0227	---	---
Total	23	9,6391	---	---	---
C.V. (%)			12,73		

APÊNDICE F - Valores de F, probabilidade, coeficiente de variação e R² para as propriedades físicas do solo e para carbono no solo nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Estatística	Dp	Ds	Pt	Macro	Micro	Teor de C	Estoque de C ¹	Estoque de C ²
Camada de solo 1								
F	1,20	1,33	1,59	1,96	7,00	2,23	4,23	1,50
Pr>F	0,3523	0,3111	0,2429	0,1737	0,0056	0,1367	0,0295	0,2658
C.V. (%)	2,1	5,3	7,3	17,4	7,0	17,5	20,9	16,7
Camada de solo 2								
F	5,81	0,89	2,98	4,71	3,38	2,21	11,54	3,33
Pr>F	0,0108	0,4729	0,0741	0,0214	0,0544	0,1395	0,0008	0,0562
C.V. (%)	2,1	3,6	7,0	19,9	6,6	15,0	15,7	14,0
Camada de solo 3								
F	2,46	0,46	0,89	4,97	3,35	2,31	5,23	3,06
Pr>F	0,1131	0,7159	0,4759	0,0181	0,0557	0,1282	0,0154	0,0695
C.V. (%)	2,5	6,8	10,8	22,9	11,9	25,3	33,0	23,6
Camada de solo 4								
F	0,71	1,58	1,44	0,45	2,54	3,42	6,18	3,10
Pr>F	0,5665	0,2456	0,2800	0,7217	0,1057	0,0528	0,0088	0,0675
C.V. (%)	2,9	6,0	10,9	36,5	13,5	22,9	22,8	19,6
Camada de solo 5								
F	1,43	1,10	2,52	0,71	0,73	1,14	3,13	1,30
Pr>F	0,2876	0,3907	0,1117	0,5674	0,5544	0,3774	0,0695	0,3239
C.V. (%)	1,6	4,6	6,2	59,7	20,8	25,1	27,5	23,5
Camada de solo 6								
F	5,61	0,43	2,14	0,77	2,38	0,32	0,59	0,38
Pr>F	0,0139	0,7354	0,1531	0,5854	0,1251	0,8136	0,6332	0,7662
C.V. (%)	1,8	4,7	6,8	43,2	10,7	25,1	36,6	25,0

APÊNDICE F Continuação.

Estadística	Dp	Ds	Pt	Macro	Micro	Teor de C	Estoque de C ¹	Estoque de C ²
Tratamento E1								
F	0,49	1,88	1,94	2,58	4,38	6,57	61,27	6,13
Pr>F	0,7811	0,1473	0,1371	0,0625	0,0088	0,0012	<0,0001	0,0017
C.V.(%)	2,1	3,2	5,7	28,1	13,0	15,6	11,9	15,9
Tratamento E2								
F	0,29	0,71	0,58	4,16	8,13	3,12	11,59	3,33
Pr>F	0,9095	0,6264	0,7121	0,0109	0,0004	0,0336	<0,0001	0,0264
C.V.(%)	2,0	3,7	5,7	26,3	10,0	16,2	23,4	16,6
Tratamento E3								
F	2,46	0,91	2,43	15,12	26,31	7,80	3,53	7,58
Pr>F	0,0893	0,4968	0,0805	<0,0001	<0,0001	0,0007	0,0242	0,0008
C.V.(%)	2,1	3,9	5,8	21,7	10,9	14,0	27,1	13,7
Tratamento CN								
F	0,72	0,48	0,59	3,09	7,40	1,26	3,86	1,85
Pr>F	0,6156	0,7842	0,7082	0,0347	0,0006	0,3234	0,0149	0,1544
C.V.(%)	2,6	8,4	13,2	40,2	18,4	35,2	37,5	30,7

Dp: densidade de partícula (Mg m^{-3}); Ds: densidade do solo (Mg m^{-3}); Pt: porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Macro: macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Micro: microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Teor de C: teor de carbono (g kg^{-1}); Estoque de C¹: na camada (Mg ha^{-1}); Estoque de C²: a cada centímetro da camada ($\text{Mg ha}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$).

APÊNDICE G - Comparação de médias para as propriedades físicas do solo, para teor (g kg^{-1}) e para estoque (Mg ha^{-1}) de carbono no solo nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Camada de solo	Tratamentos							
	E1	E2	E3	CN	E1	E2	E3	CN
	Dp				Ds			
1	2,51 Aa	2,52 Aa	2,48 Ab	2,55 Aa	1,47 Aa	1,58 Aa	1,53 Aa	1,55 Aa
2	2,49 Ba	2,49 Ba	2,57 ABab	2,62 Aa	1,55 Aa	1,58 Aa	1,51 Aa	1,53 Aa
3	2,50 Aa	2,49 Aa	2,58 Aa	2,58 Aa	1,52 Aa	1,55 Aa	1,48 Aa	1,56 Aa
4	2,51 Aa	2,53 Aa	2,57 Aab	2,57 Aa	1,54 Aa	1,57 Aa	1,45 Aa	1,58 Aa
5	2,54 Aa	2,50 Aa	2,55 Aab	2,56 Aa	1,49 Aa	1,56 Aa	1,48 Aa	1,50 Aa
6	2,50 Bb	2,50 Bb	2,49 Bb	2,61 Aa	1,48 Aa	1,51 Aa	1,48 Aa	1,46 Aa
	Pt				Macro			
1	0,41 Aa	0,37 Aa	0,38 Ab	0,39 Aa	0,19 Aa	0,15 Aa	0,20 Aab	0,18 Aab
2	0,38 Aa	0,37 Aa	0,41 Aab	0,42 Aa	0,13 Aab	0,14 Aab	0,20 Aa	0,19 Aa
3	0,39 Aa	0,38 Aa	0,43 Aa	0,40 Aa	0,16 ABab	0,13 Bab	0,24 Aa	0,16 ABab
4	0,39 Aa	0,38 Aa	0,44 Aa	0,39 Aa	0,14 Aab	0,12 Aab	0,14 Ab	0,16 Aab
5	0,41 Aa	0,38 Ba	0,42 Aab	0,42 Aa	0,13 Aab	0,08 Aab	0,07 Ac	0,11 Aab
6	0,41 Aa	0,39 Aa	0,40 Aab	0,44 Aa	0,09 Ab	0,07 Ab	0,06 Ac	0,06 Ab
	Micro				Teor de C			
1	0,23 Ab	0,23 Ac	0,19 Bc	0,22 ABb	10,31 Aa	7,95 Aab	7,84 Aab	8,75 Aa
2	0,24 Aab	0,23 ABbc	0,21 Bc	0,23 ABb	9,37 Aab	9,00 Aa	7,25 Ab	8,14 Aa
3	0,23 Ab	0,24 Abc	0,19 Ac	0,23 Ab	7,51 Abc	7,89 Aab	4,97 Ac	6,67 Aa
4	0,25 Aab	0,26 Abc	0,29 Ab	0,23 Ab	6,36 Ac	6,67 Aab	9,18 Aa	5,85 Aa
5	0,28 Aab	0,29 Aa	0,35 Aa	0,31 Aab	7,12 Abc	6,55 Aab	7,98 Aab	5,69 Aa
6	0,32 Aa	0,32 Aa	0,34 Aa	0,38 Aa	6,76 Abc	6,30 Ab	6,45 Abc	5,69 Aa
	Estoque de C¹				Estoque de C²			
1	39,81 Aa	32,30 Aa	23,37 Ba	30,36 ABba	1,52 Aa	1,26 Aab	1,20 Aab	1,33 Aa
2	39,65 Aa	35,42 Aa	21,32 Ca	27,20 BCa	1,45 Aab	1,41 Aa	1,10 Aab	1,23 Aa
3	30,42 Ab	28,79 Aab	11,09 Bb	22,52 ABba	1,14 Aabc	1,22 Aab	0,74 Ac	1,01 Aa
4	14,99 Bc	17,10 ABbc	25,24 Aa	14,18 Ba	0,98 Ac	1,05 Aab	1,32 Aa	0,90 Aa
5	15,60 Bc	16,38 Bbc	24,36 Aa	13,99 Ba	1,06 Abc	1,02 Aab	1,18 Aab	0,84 Aa
6	15,48 Ac	12,94 Ac	17,83 Aab	13,36 Aa	0,99 Ac	0,95 Ab	0,96 Abc	0,83 Aa

Dp: densidade de partícula (Mg m^{-3}); Ds: densidade do solo (Mg m^{-3}); Pt: porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Macro: macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Micro: microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Teor de C: teor de carbono (g kg^{-1}); Estoque de C¹: na camada (Mg ha^{-1}); Estoque de C²: a cada centímetro da camada ($\text{Mg ha}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem na linha e minúscula não diferem na coluna pelo teste de Tukey e teste de Duncan (número diferente de repetições) ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE H - Valores do teste de homogeneidade de variância e distribuição normal dos dados para o teor (g kg^{-1}) e estoque (Mg ha^{-1}) de carbono nas frações da matéria orgânica do solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10 -0,20 m nos povoamentos de *E. sp.* com 20 (E1), 44 (E2) e 240 (E3) meses de idade e campo nativo (CN), Fepagro Florestas, Santa Maria, RS, Brasil.

Estatística	0,0-0,10m			
	MMO		COM	
	Teor de C	Estoque de C	Teor de C	Estoque de C
N.D.	0,8678 (Pr>0,0252)	0,8480 (Pr>0,0128)	0,9763 (Pr>0,9270)	0,9396 (Pr>0,3445)
H.V.	1,36 (Pr>0,5057)	1,37 (Pr>0,5036)	4,33 (Pr>0,1148)	2,03 (Pr>0,3626)
F (Pr > F)	0,48 (0,7049)	0,47 (0,7117)	1,30 (0,3198)	0,95 (0,4466)
C.V.(%)	52,3	54,3	9,5	9,2
0,10-0,20m				
N.D.	0,7581 (Pr>0,0008)	0,7337 (Pr>0,0004)	0,8383 (Pr>0,0092)	0,8313 (Pr>0,0073)
H.V.	1,55 (Pr>0,4614)	1,44 (Pr>0,4858)	2,36 (Pr>0,3073)	2,63 (Pr>0,2686)
F (Pr > F)	1,02 (0,4164)	0,98 (0,4330)	0,67 (0,5860)	1,36 (0,3028)
C.V.(%)	47,5	48,3	14,8	13,5

N.D.: distribuição normal dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk; H.V.: homogeneidade de variância pelo teste do χ^2 -Bartlett; PR>F: probabilidade de significância; F: valor da análise de variância; C.V.: coeficiente de variação; Teor de C: g.kg^{-1} ; Estoque de C: Mg ha^{-1} ; R²: coeficiente de determinação; MMO: fração particulada; COM: fração associada a minerais.