

**A IDADE DAS PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus* sp. INFLUENCIANDO OS ESTOQUES DE CARBONO<sup>1</sup>**THE *Eucalyptus* sp. AGE PLANTATIONS INFLUENCING THE CARBON STOCKSCharlotte Wink<sup>2</sup> Dalvan José Reinert<sup>3</sup> Ivanor Müller<sup>4</sup> José Miguel Reichert<sup>3</sup> Luciano Jacomet<sup>5</sup>**RESUMO**

O crescimento das árvores e acúmulo de biomassa, bem como a manutenção do resíduo florestal na superfície do solo pode atuar na retirada de carbono da atmosfera graças ao processo de ciclagem de material vegetal. O objetivo foi estudar a influência das plantações de *Eucalyptus* sp. com 20, 44 e 240 meses de idade sobre a variação de carbono no solo e na biomassa. O carbono no solo foi determinado em profundidade por meio de autoanalisador CHNS e o carbono na vegetação foi determinado pela biomassa em cada floresta, considerando um fator de 0,45 da massa seca. Determinaram-se a densidade e a análise granulométrica do solo. Para a comparação entre plantações, realizou-se a análise de variância e comparação de médias do carbono na vegetação e no solo, considerando o nível de 5 % de probabilidade. O teor e estoque de carbono no solo foram baixos, indicando ser uma característica natural da categoria dos Argissolos ou que o crescimento das florestas de eucalipto em substituição à vegetação campo nativo não agregou um aumento significativo no carbono, apesar de ter ocorrido um aumento significativo de carbono na biomassa acima do solo, a qual inclui a biomassa florestal aérea e a serapilheira. Portanto, apesar dos baixos valores de estoque de carbono, identificou-se um maior estoque médio total no solo quando comparado ao estoque acima do solo. Além disso, esse aumento acima do solo (compartimentos arbóreos e serapilheira) pode ser considerado significativo entre as plantações de eucalipto com diferentes idades.

**Palavras-chave:** eucalipto; argissolo; solo; biomassa.

**ABSTRACT**

The tree growth and biomass accumulation, as well as the maintenance of forest residue at the soil surface can act in the removal of carbon from the atmosphere through the cycling process of plant material. The objective was to study the influence of *Eucalyptus* sp. Plantations with 20, 44 and 240 months of age on the variation of carbon in soil and biomass. The carbon in the soil depth was determined by CHNS auto-analyzer and carbon in the vegetation was determined by the biomass in each forest, considering a factor of 0.45 of the dry mass. We determined the density and particle size distribution of soil. For the comparison between plantations, there was analysis of variance and comparison of means of carbon in vegetation and soil, considering the 5 % level of probability. The carbon content and stock in the soil were low, indicating that a natural feature of the category of Paleult, or the growth of eucalyptus forests, replacing the field native vegetation did not aggregate a significant increase in the carbon. Although, there was a significant increase carbon in aboveground biomass. It includes forest biomass and litter. So, despite the values of carbon stocks are low, it identified a greater average total in the soil compared to the stock aboveground. Furthermore, this

1. Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (RS).
2. Engenheira Florestal, Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). charlotewink@yahoo.com.br
3. Engenheiro Agrônomo, PhD., Professor Titular do Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). dalvanreinert@gmail.com
4. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Estatística, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). ivanormuller@smail.ufsm.br
5. Acadêmico do curso de Agronomia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS).

Recebido para publicação em 16/07/2010 e aceito em 19/12/2011

increase aboveground (tree and litter compartments) can be considered significant between the eucalyptus plantations of different ages.

**Keywords:** *eucalyptus*; Paleudult; soil; biomass.

## INTRODUÇÃO

O planeta Terra é recoberto por uma camada de gases, especialmente CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Desses, o CO<sub>2</sub> responde por 80 % do aquecimento devido ao desmatamento e à queima de combustíveis fósseis (NABUURS e MOHREN, 1995). Para Brady e Weil (1999), os principais reservatórios de carbono são os oceanos, a atmosfera, o solo e a vegetação. Assim, o solo possui 75 % de todo o carbono da terra, destacando para isso as florestas (MALHI et al., 2002).

As florestas apresentam expressivos estoques de carbono comparado ao campo e às pastagens, e 40 % do estoque total está até um metro de profundidade (WANG et al., 2004). À medida que as florestas envelhecem diminui-se a quantidade assimilada de CO<sub>2</sub> nos galhos, nas folhas, nas raízes e na serapilheira (MALHI et al., 2002). Por outro lado, em pastagens e campo, o carbono advém somente da biomassa radicular (BRADY e WEIL, 2002). Portanto, na vegetação, o estoque de carbono depende da sucessão, da espécie, do manejo, da idade (WATZLAWICK et al., 2004), do solo e do clima (SAMPSON, 1995).

Apesar dos reflorestamentos atuarem positivamente no sequestro de carbono, as plantações em larga escala são improváveis na estabilidade desse carbono do solo, pois, a diminuição em florestas plantadas ocorre no primeiro ano, afetando principalmente os primeiros 0,40 m (NILSSON e SCHOPFHAUSER, 1995). Os possíveis declínios do carbono do solo são advindos de uma cultura desestruturada, que gera uma deterioração do complexo químico-biológico em função da desestruturação da condição física do solo. Assim, o plantio de espécies florestais em pradarias (JONHSON, 1992), ou em locais nativos (SPECHT e WEST, 2003) diminui o carbono do solo, que só se restabelece após 20 a 40 anos (SPECHT e WEST, 2003). Portanto, a capacidade do solo em reter carbono depende do conteúdo de argila e do argilomineral (KÖRSCHENS, 1996), enquanto a sua permanência no solo depende da concentração de proteínas, hemiceluloses, celulose e lignina presente na madeira, folhas e sementes (PAUL e CLARK, 1996).

O gênero *Eucalyptus*, da família Myrtaceae, possui mais de 600 espécies (HASSE, 2006) adaptadas às mais diversas condições de clima e solo (SBS,

2006). Introduzido no Brasil em 1825, ganhou notoriedade a partir da década de 50, especialmente para a fabricação de papel e celulose (HASSE, 2006). A área total de florestas plantadas com eucalipto e pinus no Brasil atingiram 6.310.450 ha, em 2009, apresentando um aumento de 4,4 % na área com eucalipto e uma queda de 2,1 % na área com pinus. As plantações de eucaliptos apresentam expansão na maioria dos estados brasileiros, confirmado pelo aumento de mais de um milhão de hectares nos últimos cinco anos (ABRAF, 2010). Essa expansão se deve ao seu rápido crescimento, curta rotação, alta produtividade e a expansão das empresas que utilizam a madeira como matéria-prima em seu segmento produtivo.

Desse modo, as florestas plantadas melhoraram a fertilidade do solo, a ciclagem de nutrientes e a proteção das bacias hidrográficas, bem como geram e diversificam a renda rural e a arrecadação de tributos (ABRAF, 2010). Frente a isso, pode-se relacionar ainda o potencial dessas florestas, quando bem manejadas, em atuar na redução das emissões de gases para atmosfera. Diversos estudos no Brasil envolvem a fixação de carbono em florestas plantadas, especialmente de eucalipto e pinus, que segundo Rodigheri et al (2005), está entre 7,5 a 10 t.ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>. O Rio Grande do Sul (RS) é o sexto estado em área com produção de florestas plantadas (ABRAF, 2010). É um dos estados que mais se engajou na expansão das áreas florestais, incluindo as áreas de reforma (35.000 ha em 2005 para 90.000 ha em 2006). Apesar de no RS ser contabilizada uma queda de florestas plantadas de eucalipto de 277.320 ha em 2008 para 271.980 ha, em 2009, a área ainda supera as plantações com pinus (ABRAF, 2010), sendo que esses dois gêneros somam 47,2 % da produção sustentável florestal (SBS, 2006). As áreas produtivas de eucalipto e pinus são destinadas para atender a indústria de papel e celulose, a indústria madeireira, como a produção de compensados e madeira serrada, bem como para a produção de carvão vegetal (SBS, 2006). O RS é destaque no recebimento de projetos que contemplam investimentos de base florestal em 2009, após a crise internacional mundial (ABRAF, 2010), reforçando assim a expansão dos estudos envolvendo o impacto da silvicultura comercial plantada sobre as condições de qualidade ambiental.

O objetivo foi estudar a influência das plantações de eucalipto de diferentes idades, implantadas

em uma área de campo nativo, sobre o estoque de carbono no solo e na biomassa florestal.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, FEPAGRO FLORESTAS, em Santa Maria, Rio Grande do Sul, localizada nas coordenadas de 54°15' de longitude oeste e 29°30' de latitude sul. O clima é subtropical úmido do tipo Cfa, por Köppen, com temperatura média de 19 °C e precipitação anual entre 1300 e 1800 mm (MORENO, 1961). O solo é classificado em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico ou Hapludalf, na área Euc20 (PREVEDELLO, 2008) e na área Euc44, e Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (ABRÃO et al., 1988 e EMBRAPA, 2006), ou Paleudult (SOIL SURVEY STAFF, 1999), na área Euc240. Essa categoria ocorre aproximadamente em 139,2 ha da área da estação (24,7 %), apresentando horizonte A espesso e o B com estrutura mais desenvolvida e com maiores teores de argila (ABRÃO et al., 1988).

Foram estudadas florestas implantadas com eucalipto de 20 (Euc20), 44 (Euc44) e 240 (Euc240) meses de idade, e o campo nativo (CN). O Euc20 foi implantado em planície suave, em novembro de 2006, sob espaçamento 3 m x 2 m, em 0,72 ha, na qual foi avaliada apenas uma área de 0,18 ha. O preparo do solo consistiu de grade niveladora e enxada rotativa na linha de plantio (PREVEDELLO, 2008). O Euc44 foi implantado em topo de relevo, em outubro de 2004, sob espaçamento 3 m x 1,5 m, tendo uma área de 0,225 ha. A implantação consistiu na realização de roçada mecânica em toda a área e o preparo do solo, com enxada rotativa a 0,15 m de profundidade, somente na linha de plantio. Durante os primeiros seis meses realizou-se roçadas nas entrelinhas do plantio e aplicação de ROUNDUP®, bem como o combate de formigas. Não foi realizado qualquer tipo de adubação. O Euc240 foi implantado em relevo ondulado, em 1988, sob espaçamento 3 m x 2 m, com uma área de 1,21 ha, sendo a área amostral de apenas 0,1492 ha. O preparo do solo foi realizado na linha, obedecendo à declividade do terreno. Durante a realização desse trabalho a área já havia recebido intervenções, como o desbaste.

O estoque de carbono na biomassa das árvores foi realizado após o inventário florestal, realizado por meio do censo nas plantações com 20 (Euc20) e 44 (Euc44) meses e por amostragem na plantação com 240 meses (Euc240), considerando um levantamento em área amostral de no mínimo 10 % da área

total. A amostragem foi realizada em parcelas circulares com 5 m de raio, distanciadas 20 m na linha e 15 m entre linha, seguindo a orientação da linha de plantio, bem como a topografia do local. Mediu-se o diâmetro a altura do peito (*dap*) utilizando Suta, e altura de 10 % das árvores (*h*), em cada área, utilizando o hipsômetro Vertex. Foram selecionadas três árvores-amostra por floresta: a árvore de diâmetro a altura do peito médio ( $dap_{\text{médio}}$ ), a árvore de diâmetro superior (adicionando uma unidade do valor de desvio padrão ao valor do diâmetro a altura do peito) e a de diâmetro inferior (subtraindo uma unidade do valor de desvio padrão ao valor do  $dap_{\text{médio}}$ ). Com isso, estabeleceram-se três classes diamétricas, as quais podem também ser obtidas pela fórmula de Sturges (FINGER, 1992). A partir do número de árvores em cada classe diamétrica em cada plantação, e com a área amostral e a área total de cada plantação determinou-se o número de árvores.ha<sup>-1</sup>, por classe diamétrica.

A quantificação da massa seca de folhas, dos galhos, da casca e da madeira foi realizada pelo método destrutivo a partir da árvore com  $dap_{\text{médio}}$  de cada classe diamétrica. O material foi seco em estufa a 60 °C por 72 horas e após determinada sua massa seca. A massa seca por hectare (Mg.ha<sup>-1</sup>) de cada compartimento arbóreo, em cada classe diamétrica, por plantação florestal foi determinada considerando a massa seca total por hectare (Mg.ha<sup>-1</sup>) do respectivo compartimento, o número de árvores por hectare na plantação e o número de árvores por hectare em cada classe diamétrica. Já o estoque de carbono na massa seca foi realizado pela multiplicação da massa seca por hectare de cada compartimento arbóreo, de cada classe diamétrica, de cada local, pelo fator de 0,45 (WANG et al., 2001). Este valor é aceitável pelo IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change), que considera o máximo de 0,5 (PENMAN et al., 2003).

A massa seca de serapilheira e do campo nativo foi determinada a partir da coleta de 24 amostras simples por área, utilizando moldura de ferro de 25 cm x 25 cm. As amostras foram mantidas a 60 °C por 120 horas em estufa, pesadas e trituradas. Após pesadas, foram obtidas amostras compostas, devidamente homogeneizadas a partir de cada três amostras simples, em cada área amostral. As amostras compostas foram analisadas quanto à quantidade de carbono. A massa seca total (Mg.ha<sup>-1</sup>), bem como o estoque de carbono desse material, em cada plantação florestal, foi determinada pela soma dos compartimentos arbóreos (folha, galho, casca e madeira) com os valores

da serapilheira.

As amostras de solo foram coletadas em quatro trincheiras (1,00 m x 0,60 m) por local, sendo essas localizadas na entrelinha de plantio. Os perfis de solo foram divididos em seis camadas, conforme as características morfológicas (sensação ao tato, consistência e cor). Desse modo no Euc20, as trincheiras apresentaram profundidades de 1,15 m; 1,40 m; 1,32 m; 1,25 m. No Euc44, as profundidades foram de 1,15 m; 1,25 m; 1,30 m; 1,15 m, já no Euc240, as trincheiras tiveram profundidades de 1,10 m; 1,20 m; 1,05 m; 0,83 m, e no CN as profundidades foram de 1,20 m; 1,15 m; 1,17 m; 1,12 m. Em todos os tratamentos foi possível definir seis camadas, exceto no Euc240, que apresentou perfis mais rasos, tendo uma trincheira com apenas quatro camadas.

Em sequência, o solo foi seco ao ar, destorroadado, passado em peneira de 2 mm e enviado para análise. A análise granulométrica do solo foi feita pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico, sendo duas repetições por camada. O carbono do solo, da serapilheira e da vegetação do campo nativo foi determinado via Analisador Elementar modelo FlashEA 1112. O estoque de carbono no solo foi calculado considerando a densidade do solo e a espessura da camada (MACHADO, 2005):

$$EC = C \cdot ds \cdot p/10$$

Em que: EC = estoque de carbono no solo (Mg.ha<sup>-1</sup>); C = teor de carbono na camada de solo (g.kg<sup>-1</sup> solo); ds = densidade do solo na camada (g.cm<sup>-3</sup>); p = espessura da camada de solo (cm).

Realizou-se a análise de variância do estoque de carbono na vegetação e no solo (entre profundidades em cada tratamento e entre tratamentos em cada profundidade) e a comparação de médias pelo teste de Tukey e Duncan (números diferentes de repetições na comparação dos locais nas profundidades 0,86-1,02 m e 1,02-1,19 m), ao nível de 5 % de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A plantação de eucalipto senil (Euc240), considerando acima e abaixo do solo, apresentou o maior estoque total médio de carbono (184,01 Mg.ha<sup>-1</sup>), comparada às plantações jovens (Euc20: 161,78 Mg.ha<sup>-1</sup>; Euc44: 156,08 Mg.ha<sup>-1</sup>) e ao campo nativo (124,36 Mg.ha<sup>-1</sup>).

Somente considerando acima do solo (árvores + serapilheira), o acúmulo de biomassa e o

estoque de carbono também apresentaram um aumento com a idade das plantações, em substituição ao campo nativo. Essa massa seca e seu estoque total de carbono foram significativamente diferentes entre as plantações florestais (árvores + serapilheira) e no campo nativo. O Euc240 apresentou, entre os tratamentos, o maior acúmulo de biomassa e estoque de carbono acima do solo (Euc240: 131,02 e 58,64 Mg.ha<sup>-1</sup>), diferindo das plantações jovens (Euc44: 29,33 e 13,18 Mg.ha<sup>-1</sup>; Euc20: 11,29 e 4,92 Mg.ha<sup>-1</sup>) e do campo nativo (6,73 e 2,76 Mg.ha<sup>-1</sup>), os quais não diferiram entre si. Os valores de desvio padrão e de coeficiente de variação para a massa seca total acima do solo foram de 1,99 e 17,62 no Euc20, de 10,18 e 34,72 no Euc44, de 32,25 e 24,65 no Euc240 e de 1,61 e 23,95 no CN. Para o estoque de carbono, os valores de desvio padrão e coeficiente de variação foram de 0,89 e 18,18 no Euc20, de 4,58 e 34,78 no Euc44, de 14,49 e 24,75 no Euc240 e de 0,66 e 24,03 no CN. Similarmente a isso, Vesterdal et al. (2002) identificaram um aumento de 65 e 100 Mg.ha<sup>-1</sup> do estoque de carbono respectivamente no solo (0,0-0,05 m) e na biomassa após 28-29 anos de reflorestamento com *Quercus robur* e *Picea abies*, na Dinamarca.

Considerando somente os compartimentos arbóreos, pode-se constatar que o Euc240 também apresentou o maior acúmulo total de biomassa e consequentemente o maior estoque de carbono, quando comparado às demais plantações de eucalipto avaliadas no estudo. Desse modo a distribuição da massa seca na biomassa florestal e o seu respectivo estoque de carbono nas diferentes classes diamétricas nas plantações florestais podem ser vistos na Tabela 1.

A plantação Euc240, com uma diferença mínima significativa (DMS) de 49,71 para a massa seca das árvores e de 22,37 para o estoque de carbono, foi significativamente superior às plantações jovens (Euc44 e Euc20), as quais não diferiram entre si (Figura 1a).

A tendência de mudança, com a idade das florestas, do estoque de carbono na biomassa viva acima do solo, foi observada também por Christie e Scholes (1995) em plantações de eucalipto, na África. O aumento foi de 26,1 Mg.ha<sup>-1</sup> para 140,3 Mg.ha<sup>-1</sup> em rotações de 10 e 25 anos, sendo a produção média dessas plantações de 122 a 695 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Segundo esses autores, o estoque de carbono na biomassa foi de 25,57 Mg.ha<sup>-1</sup> em florestas com menos de 5 anos e de 102,70 Mg.ha<sup>-1</sup> nas florestas com mais

TABELA 1: Distribuição da biomassa ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) e carbono arbóreo ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ), nas plantações de *Eucalyptus* sp., com 20 (Euc20), 44 (Euc44), 240 (Euc240) meses, Fepagro Florestas, RS, Brasil.TABLE 1: Distribution of tree biomass and carbon in *Eucalyptus* sp. plantations, with 20 (Euc20) 44 (Euc44), 240 (Euc240) months, Fepagro Florestas, RS state, Brazil.

Tratamento Euc20						
Variável	Valor (amplitude)	Componente	Total (1506*)	Classe diamétrica (m)		
Diâmetro (m)	4,7 (0,2 a 9)			< 0,03 (356 <sup>A</sup> )	0,03 e 0,06 (650 <sup>A</sup> )	> 0,06 (500 <sup>A</sup> )
Altura (m)	6,3 (1,4 a 8,7)	Biomassa	18,23	4,31	7,87	6,05
Área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ )	3,1	Carbono	8,20	1,94	3,54	2,72
Tratamento Euc44						
Variável	Valores	Componente	Total (1609*)	Classe diamétrica (m)		
Diâmetro (m)	10,8 (1,8 a 20,6)			< 0,06 (253 <sup>A</sup> )	0,06 e 0,12 (636 <sup>A</sup> )	> 0,12 (720 <sup>A</sup> )
Altura (m)	13,2 (3,6 a 19,1)	Biomassa	61,50	9,67	24,31	27,52
Área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ )	16,9	Carbono	27,68	4,35	10,94	12,39
Tratamento Euc240						
Variável	Valores	Componente	Total (798*)	Classe diamétrica (m)		
Diâmetro (m)	21,9 (2,2 a 48,2)			< 0,15 (255 <sup>A</sup> )	0,15 e 0,30 (349 <sup>A</sup> )	> 0,30 (194 <sup>A</sup> )
Altura (m)	22,7 (5,2 a 43,4)	Biomassa	337,06	107,71	147,41	81,94
Área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ )	38,3	Carbono	151,67	48,47	66,33	36,87

Em que: Valores expressos em  $Mg \cdot ha^{-1}$ ; <sup>A</sup> = número total de árvores por hectare.

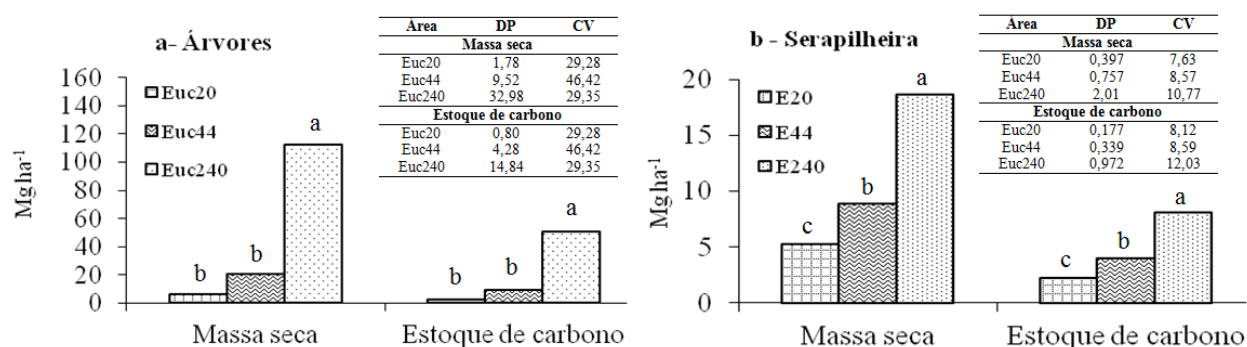


FIGURA 1: Massa seca e estoque total de carbono nas árvores (a) e na serapilheira (b) de eucalipto, com 20 (Euc20), 44 (Euc44) e 240 (Euc240) meses, Fepagro Florestas, RS. Médias seguidas por mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5 % de erro. DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

FIGURE 1: Dry mass and means total carbon stocks in eucalyptus plantations, with 20 (Euc20), 44 (Euc44) and 240 (Euc240) months, and native grassland, Fepagro Florestas, RS. Means followed by same letter do not differ in 5 % of level. DP: standard deviation; CV: variation coefficient.

de 15 anos. Possivelmente, as diferenças observadas para o estoque de carbono entre os estudos sejam decorrentes das diferenças de crescimento entre os povoamentos ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ). Para o presente estudo, houve uma produção média de madeira de 21,2; 129,4 e de 476,0  $m^3 \cdot ha^{-1}$ , respectivamente para o Euc20, Euc44 e Euc240. Mesmo ocorrendo um acúmulo de biomassa com o crescimento das plantações de eucalipto, convertendo os valores

de massa seca e estoque de carbono para  $ha \cdot ano^{-1}$ , não se verifica uma variação expressiva do incremento da massa seca nas plantações com 20 anos (Euc240: 5,62  $Mg \cdot ha^{-1} \cdot ano$ ) comparada às plantações jovens (Euc44: 5,58  $Mg \cdot ha^{-1} \cdot ano$ ; Euc20: 3,64  $Mg \cdot ha^{-1} \cdot ano$ ). No entanto, para o estoque de carbono, constata-se um ponto de incremento maior na floresta jovem (Euc44: 2,81) quando comparado às plantações com 20 anos (Euc240:

2,28 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano), e em menor contribuição na floresta recém-implantada (Euc20: 1,59 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano). Isso pode estar associado ao ciclo de crescimento da espécie, sendo que as árvores mais velhas apresentam a estabilização do incremento anual de massa seca e, respectivamente, do seu estoque de carbono. Apesar disso, Schneider e Schneider (2008) esclarecem que as florestas jovens podem somar estoques menores de carbono, mas apresentarem altas taxas de variação, diferente das florestas maduras que se encontram em clímax e assim tendem a ter um ganho líquido nulo de carbono.

Pregitzer e Euskirchen (2004) afirmam que, independente do ecossistema, o incremento de carbono ocorre com aumento da biomassa em função do aumento da idade, mas os estoques são variáveis com a idade e o tipo florestal. Estudar a produção de biomassa e o estoque de carbono para cada espécie é fundamental, pois elas variam conforme o tipo de solo, a nutrição e a disponibilidade de água (KÖRNER, 2003). Já Schumacher et al. (2002) quantificaram o estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda*, aos 5, 10, 15 e 20 anos, utilizando também uma intensidade amostral de três árvores por floresta. As variações de biomassa e carbono aos cinco e aos 20 anos, registrado por esses autores, são inferiores aos valores registrados no tratamento Euc240. As diferenças entre os dois estudos podem estar associadas à diferença de espécie, ao manejo ou ainda à densidade de árvores.ha<sup>-1</sup>. Naquele estudo, a densidade de árvores era de 1600 e 300 árvores ha<sup>-1</sup> respectivamente aos 5 e aos 20 anos, quando comparada a 1609 e 798 árvores ha<sup>-1</sup> respectivamente do Euc44 e Euc240. Para *Acacia mearnsii* aqueles autores registraram um estoque médio de 6,3 Mg.ha<sup>-1</sup> aos 2 anos, e de 24,22 Mg.ha<sup>-1</sup> aos 4 anos, sendo essas diferenças advindas possivelmente, não só da diferença na densidade de árvores ha<sup>-1</sup> entre as plantações (2091 e 1995 árvores.ha<sup>-1</sup>), mas também pela diferença do incremento de biomassa dos locais. As florestas de *Pinus* spp. com 5 a 20 anos, também apresentam menores estoques de carbono (BALBINOT et al., 2008).

As plantações de eucalipto apresentaram também uma variação significativa de massa seca e estoque de carbono na serapilheira (Figura 1b). Schumacher e Witschoreck (2004) quantificaram, em plantações de eucalipto com 2 a 8 anos de idade, um estoque de carbono na serapilheira respectivamente de 1,65 a 5,50 Mg.ha<sup>-1</sup>. Possivelmente, as diferenças com os resultados desse estudo estejam

atreladas ao tipo de solo o que influencia o crescimento das árvores, uma vez que essas plantações se encontravam em um Alissolo. Já florestas de eucalipto com 13 e 20 anos, em Argissolo, apresentam uma variação nos estoques de carbono de 6,00 a 10,86 Mg.ha<sup>-1</sup> (ANTUNES, 2007), superiores aos valores reportados no presente estudo. Desse modo, existe uma relação significativa da quantidade anual de serapilheira e idade das plantações de eucalipto, tendo um acúmulo de 4 Mg.ha<sup>-1</sup>, em plantações com 3 anos, e de 8 Mg.ha<sup>-1</sup>, em plantações com 15 anos (TURNER e LAMBERT, 2002). Além disso, os estoques de carbono da serapilheira do presente estudo podem estar associados às diferentes características da mesma, como a baixa qualidade química, a relação C/N alta, os teores de lignina e celulose, ou ainda, pela presença de substâncias que afetam os organismos responsáveis pela transformação do carbono, especialmente em material orgânico de eucalipto (ALVARENGA et al., 1999).

Para o estoque de carbono no solo, os valores de desvio padrão (7,04 a 11,42), assim como os valores dos coeficientes de variação (10,16 a 37,51), são considerados baixos. O estoque de carbono no solo variou de 11,09 a 39,81 Mg.ha<sup>-1</sup>, sendo que o estoque de carbono médio total no perfil do solo não aumentou com a idade da floresta, sendo isso característica natural dos Argissolos. Para Brun (2008), os Argissolos apresentam baixos teores de carbono, o que sugere que os mesmos devam ser manejados com maior cuidado. Em comparação ao presente estudo, Antunes et al. (2007), especialmente na profundidade 0,0-0,1 m, encontraram os maiores estoques totais de carbono nas pastagens (151,74 Mg.ha<sup>-1</sup>), seguido da floresta com 20 anos de idade (148,32 Mg.ha<sup>-1</sup>) e, por fim, a floresta com 4,5 anos (130,33 Mg ha<sup>-1</sup>). Para Pulrolnik (2007), 92 % do estoque de carbono na floresta de eucalipto concentram-se até 1 m de profundidade, e só 8 % na serapilheira. Por isso Christie e Scholes (1995) acreditam que nem sempre as florestas estocam mais carbono no solo que áreas de campo, apesar de contabilizarem um significativo estoque de carbono na superfície, devido à serapilheira, é nas áreas de pastagens que ocorre uma maior translocação das frações de carbono subterrâneo.

Entre as camadas de solo, avaliando cada tratamento, as diferenças significativas do estoque de carbono ocorreram somente nas florestas (Figura 2), excetuando o CN, que não apresentou diferença significativa do estoque de carbono em profundidade.

Esse estoque de carbono diminuiu em profundidade, exceto para o Euc240. Para Schumacher e Witschoreck (2004), há diferenças de estoque de carbono em profundidade no solo de plantios de *Eucalyptus* ssp. com 4 e 8 anos, no Rio Grande do Sul. Essa diminuição do carbono em profundidade é também citada por Antunes (2007) em floresta de eucalipto com 4,5 e 20 anos em Argissolo Vermelho distrófico. Os maiores valores foram a 0,0-0,05 m e os menores a 0,60-1,0 m, tendo as florestas maiores quantidades que a pastagem. O mesmo é verificado em *Pinus taeda*, com 5, 14, 20 e 32 anos e *Acacia mearnsii*, com 2 a 8 anos estudados por Caldeira et al. (2002). Em comparação a esses estudos, destacando as características diferenciadas do bioma, condições de manejo, bem como a realidade climática diferenciada, para a região do Cerrado identificou-se que os estoques de carbono no solo em plantios de *Eucalyptus saligna* de curta (6 a 10 anos e densidade de 1667 árvores.ha<sup>-1</sup>) e longa (60 anos) rotação, além das pastagens, diminuem

mais intensamente na profundidade de 0,0-0,05 m (MAQUERE et al., 2008).

Comparando os tratamentos por camada de solo, as diferenças significativas ocorreram nas profundidades de 0,0-0,24; 0,24-0,47; 0,47-0,69; 0,69-0,86 e 0,86-1,02 m. Os tratamentos Euc20, Euc44 e CN apresentam o maior estoque nas camadas 0,0-0,24; 0,24-0,47 e 0,47-0,69 m, sendo que o estoque de carbono no tratamento Euc240 difere significativamente das demais florestas somente em 0,00-0,24 e 0,24-0,47. As diferenças de estoque nas profundidades superficiais podem ser devido ao acúmulo de resíduo vegetal, da quantidade de matéria orgânica, da atividade radicular e dos microrganismos. De certo modo, a alteração da vegetação nativa diminui o carbono do solo (POST e KWON, 2000), sendo isso devido à espécie, à quantidade de serapilheira, à produção de raízes, e à idade das plantações, sendo o equilíbrio restaurado somente após 40 anos com o cultivo da floresta (GUO e GIFFORD, 2002). Por outro lado,

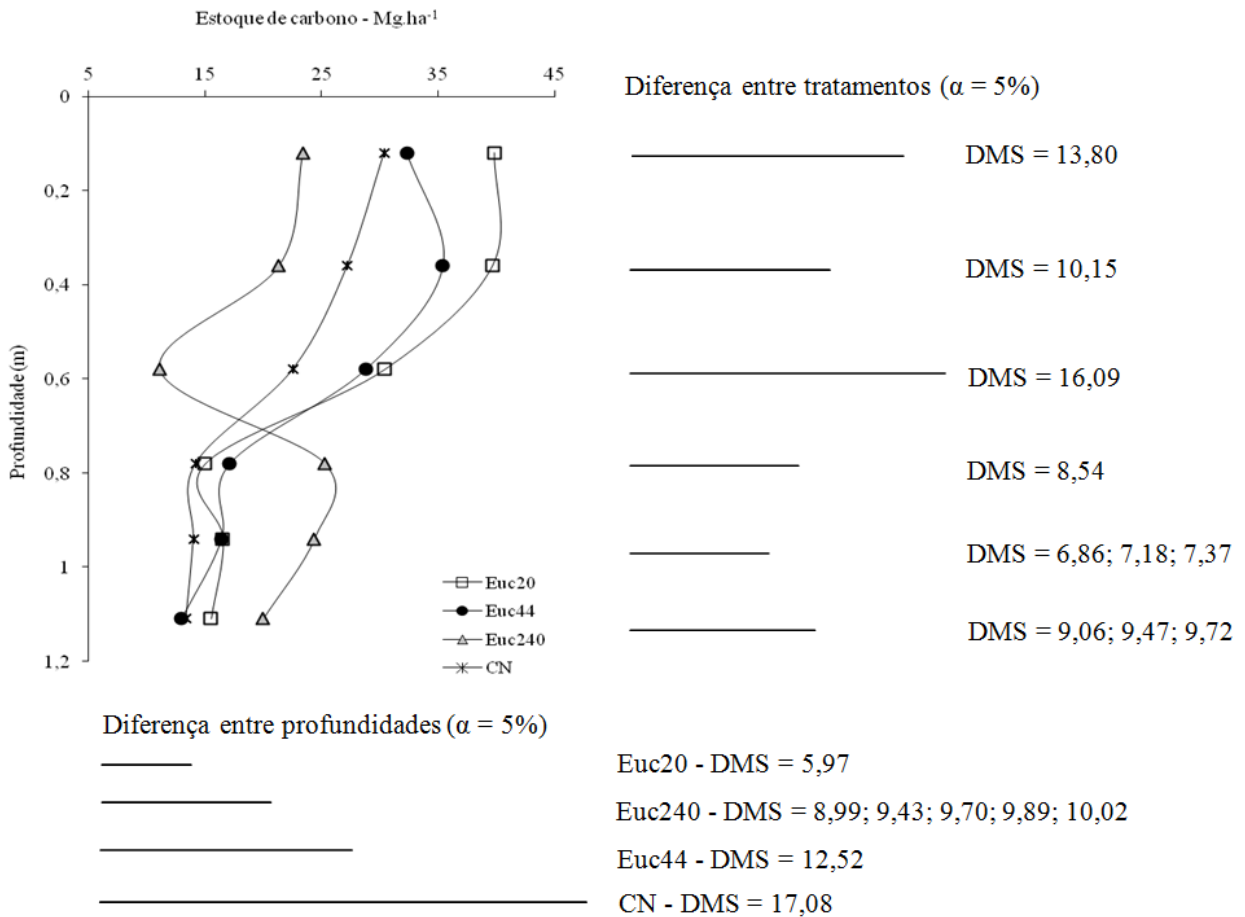


FIGURA 2: Estoque de carbono (Mg.ha<sup>-1</sup>) no solo, Fepagro Florestas, RS. DMS: diferença mínima significativa.

FIGURE 2: Carbon stocks (Mg.ha<sup>-1</sup>) in soil, Fepagro Florestas, RS. DMS: least significant difference.

Lima (2004) encontrou o maior teor de carbono na camada 0,0-0,05 m em floresta de eucalipto comparado à pastagem, devido à serapilheira, pois esta compensa o papel exercido pelas raízes superficiais da pastagem. Já Mafra et al. (2008) identificaram a maior quantidade de carbono a 0,0-0,05 m nas áreas nativas, e a 0,2-0,4 m os maiores valores foram observados na floresta de pinus de 20 anos e no campo. Até os 15 anos, a quantidade de carbono em 0,0-0,10 m é menor nas florestas de eucalipto quando comparada aos ambientes nativos, sendo que a 0,0-0,5 m isso ocorre até os 20 anos, pelo fato de que as plantações florestais de curta rotação e sem qualquer enriquecimento nutricional podem causar perda de carbono total (TURNER e LAMBERT, 2000). Portanto, os reflorestamentos, para Bashkin e Binkley (1998), não promovem um aumento de carbono até 0,55 m, após os 10 a 13 anos. Já para Paul et al. (2003), os reflorestamentos com *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus globulus* geram um decréscimo de carbono até 0,30 m nos primeiros 10 anos, com incremento só a partir dos 10 a 14 anos de idade. Provavelmente, a redução pode estar associada ao impacto que o local tenha sofrido com as práticas de implantação da floresta e que podem ser restabelecidos quando a floresta inicia a sua estabilização e permite o retorno significativo de carbono a partir da ciclagem da biomassa florestal.

Nas camadas 0,69-0,86 m e 0,86-1,02 m, o Euc240 apresentou os maiores estoques, diferindo significativamente do Euc20 e CN. Isso pode estar associado à textura (VOGT et al., 1995) ou devido à atividade radicular causada pelo aumento da densidade de raízes com o crescimento das árvores. Para Gonçalves e Mello (2000), as variações morfológicas, físicas e químicas do perfil do solo influenciam a distribuição das raízes, pois, em plantios jovens a distribuição horizontal das raízes é influenciada pelo preparo do solo e espaçamento, que podem desaparecer com a idade do povoamento. Para esses mesmos autores, as gramíneas apresentam maior densidade de raízes nas camadas superficiais quando comparado ao eucalipto. Já, Witschoreck et al. (2003) identificaram sob plantações de *Eucalyptus urophylla*, com 10 anos de idade em Alissolo, uma maior intensidade de biomassa e densidade de raízes finas nos primeiros 60 cm do solo.

Além disso, no Euc240 o solo é mais argiloso, quando comparado à textura franco-argilo-arenosa do Euc20 e franco-arenosa e franco-argilosa no CN. Não obstante, Fitzsimmons et al. (2004) afirmam que a textura não gera influência no carbono

do solo entre florestas, pastagens e áreas cultivadas. Para estes autores, locais com quantidades similares de argila apresentam sim uma variação de umidade no perfil, o que pode favorecer tal variação de carbono. Para Silver et al. (2000), o incremento linear de argila tem efeito sobre a matéria orgânica, apesar dos resultados entre solos arenosos (80 Mg.ha<sup>-1</sup>) e argilosos (81 Mg.ha<sup>-1</sup>) não gerarem diferenças significativas de carbono a um metro de profundidade. Portanto o impacto do reflorestamento sobre o estoque de carbono do solo é mais pronunciado em solos com menos argila, associado também ao manejo, ao tipo de floresta e à rotação (PAUL et al., 2002). Ademais, essa variação do carbono no solo pode ainda estar relacionada à estrutura, à mineralogia, ao pH (DUDAL e DECKERS, 1991) ou as condições físicas e químicas do solo (CALDEIRA et al., 2002).

Os estoques de carbono no Euc240 podem ainda estar associados à existência de perfis mais rasos e à presença de rocha em alteração ou pouco intemperizada (saprólitos). Para Abrão et al. (1988), nesta unidade de mapeamento podem ocorrer pequenas inclusões de solos com horizonte B menos espesso, principalmente na transição para solos litólicos. Outra possibilidade pode ser que na plantação de 20 anos o estoque possivelmente tenha sido favorecido pela translocação e incorporação de metabólitos e complexos de carbono em profundidade, em decorrência da atividade biológica, apesar desta diminuir em profundidade. Por isso, Lal (2005) propõe que, ao estudar o carbono no solo em uma sequência de idades das florestas, deve-se considerar sítios sobre o mesmo material, tipo de solo, posição na paisagem e histórico de uso. A perda de carbono, segundo o mesmo autor, pode ser proveniente da alteração da biomassa, da decomposição da matéria orgânica e dos resíduos devido à mudança na relação C/N, do conteúdo de lignina do material em decomposição, do decréscimo da agregação e da proteção física da matéria orgânica com o incremento da erosão. Na floresta, esse estoque ainda é afetado pela declividade do terreno, que influencia no regime hídrico e na textura do solo. Em plantações de pinus e eucalipto, a diminuição é devida ao preparo do solo e à menor entrada de resíduos nos primeiros anos da floresta (ZINN et al., 2002), ou pela idade do povoamento (CALDEIRA et al., 2002).

As diferenças do estoque de carbono no solo nas plantações de eucalipto também podem estar associadas à condição química do solo. A acidificação e o aumento do alumínio trocável podem ser res-



ponsáveis pela diminuição do carbono por um período de 10 anos, quando da alteração de pastagens em plantações de *Eucalyptus grandis* (SICARDI et al., 2004), pois a baixa proteção física e química de solos arenosos não garante a estabilidade da matéria orgânica (VOGT et al., 1995), além do menor teor de bases, menor pH, e menor relação C/N (LELES et al., 1994). O solo estudado apresentou consideráveis quantidades de  $Al^{3+}$  trocável (2,6 a 7,1), baixo pH<sub>água</sub> (5,1 a 5,4), baixos teores de matéria orgânica (<2,5 %) e baixa fertilidade, dado aos valores de cálcio (<=2,0 a >4,0), magnésio (0,6 a >1,0), nitrogênio (0,044 a 0,091 %), fósforo (0,30 a 2,67 mg dm<sup>-3</sup>) e de potássio (18,0 a 78,5 mg dm<sup>-3</sup>). Com isso, o tempo de cultivo da floresta de eucalipto pode aumentar a acidez do solo e diminuir o pH, afetando assim os organismos decompositores (ALVARENGA et al., 1999).

## CONCLUSÕES

O estoque de carbono no solo, apesar de ser considerado baixo, indicou que o crescimento das florestas de eucalipto em substituição à vegetação de campo não agregou um aumento significativo nesse estoque, ao contrário dos compartimentos arbóreos e da manta superficial (serapilheira). Apesar disso, o solo armazenou um estoque médio total de carbono maior quando comparado ao compartimento acima do solo. Assim, sugere-se que essas mudanças sejam sempre fidedignamente monitoradas e manejadas no princípio da sustentabilidade e do equilíbrio, para que garantam o cumprimento de amenização do crescente aumento de dióxido de carbono na atmosfera.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES, à Fepagro Florestas, e aos bolsistas de iniciação científica do Laboratório de Física do Solo, UFSM/CCR.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF, **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009**. ABRAF: Brasília, 2010. 140 p.

ABRÃO, P. U. R. et al. **Levantamento semidetalhado dos solos da estação experimental de silvicultura de Santa Maria**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis, 1988. 75 p.

ALVARENGA, M. I. N. et al. Teor de carbono,

biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência Agrotécnica**, v. 23, n. 3, p. 617-625, jul./set., 1999.

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, 2007.

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.

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

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soil**. 12th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 881 p.

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

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, 2008.

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.

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.

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.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC,

1992. 269 p.
- FITZSIMMONS, M. J. et al. 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.
- GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI V. (ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 219-268.
- 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, Apr. 2002.
- HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal**. Porto Alegre: JA Editores, 2006. 127 p.
- 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.
- KÖRNER, C. Ecological impact of atmospheric CO<sub>2</sub> 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.
- LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 220, n. 1/3, p. 242-258, Dec. 2005.
- LELES, P. S. S. et al. **Captura e fluxo de CO<sub>2</sub> atmosférico pelas florestas plantadas e manejadas**. Viçosa, 1994. 13 p. (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, 2004.
- 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. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 217-224, mar./abr. 2008.
- MALHI, Y. et al. 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.
- 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, July 1995.
- NILSSON, S.; SCHOPFHAUSER, W. The carbon-sequestration potential of a global afforestation program. **Climate Change**, v. 30, n. 3, p. 267-293, July 1995.
- 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. p.129-155. Cap.6.
- PAUL, K. I. et al. Change in soil carbon following afforestation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 168, n. 2/3, p. 241-257, June 2002.
- PAUL, K. I. et al. Sensitivity analysis of predicted change in soil carbon following afforestation. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 164, n. 2/3, p. 137-152, June 2003.
- PENMAN, J. et al. Good practice guidane for land use, land-use change and forestry. Kanagawa: IPCC, 2003.
- 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, 2008.
- 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 Solo e Nutrição de Plantas). - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- RODIGHERI, H. R. et al. **Indicadores de custos, produtividade, renda e créditos de carbono de plantios de eucalipto e pinus em pequenas propriedades rurais**. Colombo:

- Embrapa Florestas, p. 1-8, dez. 2005 ( Comunicado técnico nº 136).
- 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.
- SBS. Sociedade Brasileira de Silvicultura. **Fatos e números do Brasil florestal**. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>, 2006. Acesso em: 13 Julho 2008.
- SCHENEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. R. P. Avaliação da biomassa e carbono In: SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. R. P. **Introdução ao manejo florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. p. 275-308.
- 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.; 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.
- SICARDI, M. et al. 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.
- 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.
- 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).
- 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.
- 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, Apr. 2002.
- VESTERDAL, L. et al. 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.
- 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, S. et al. Vertical distribution of soil organic carbon in China. **Environment Management**, New York, v. 33, p. 200-209, 2004.
- WANG, X. et al. The impacto of human disturbance on vegetatitve carbon storage in forest ecosystems in China, **Forest Ecology and Management**, v. 148, n. 1/3 p. 117-123, July 2001.
- WATZLAWICK, L. F. et al. 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, 2004. p. 95-110.
- WITSCHORECK, R. et al. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 177-183, 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.