

**Estoques de carbono e nitrogênio
em solos florestais e agrícolas
na região de Caçador, SC**

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 256

Estoques de carbono e nitrogênio em solos florestais e agrícolas na região de Caçador, SC

Josiléia Acordi Zanatta
Rosana Clara Victoria Higa
Renato Antonio Dedecek
Marilice Cordeiro Garrastazu
Denise Jeton Cardoso

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2013

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,
83411-000, Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675-5600

www.cnpf.embrapa.br

cnpf.sac@embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Alvaro Figueredo dos Santos, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Elenice Fritsons, Guilherme Schnell e Schuhli, Jorge Ribaski, Luis Claudio Maranhão Froufe, Maria Izabel Radomski, Susete do Rocio Chiarello Penteado

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Patrícia Póvoa de Mattos

Normalização bibliográfica: Francisca Rasche

Editoração eletrônica: Rafeale Crisostomo Pereira

1ª edição

Versão digital (2013)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Florestas

Estoques de carbono e nitrogênio em solos florestais e agrícolas na região de Caçador, SC [recurso eletrônico] / Josiléia Acordi Zanatta... [et al.].
Dados eletrônicos - Colombo : Embrapa Florestas, 2013.
(Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958 ; 256)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

Título da página da web (acesso em 27 dez. 2013).

1. Solo. 2. Nutrição. 3. Estoque de carbono. 4. Caçador. I. Zanatta, Josiléia Acordi. II. Higa, Rosana Clara Victoria. III. Dedeczek, Renato Antonio. IV. Garrastazu, Marilice Cordeiro. V. Cardoso, Denise Jeton. VI. Série.

CDD 631.4608164 (21. ed.)

Autores

Josiléia Acordi Zanatta

Engenheira-agrônoma, Doutora
Pesquisadora da Embrapa Florestas
josileia.zanatta@embrapa.br

Rosana Clara Victoria Higa

Engenheira-agrônoma, Doutora
Pesquisadora da Embrapa Florestas
rosana.higa@embrapa.br

Renato Antonio Dedecek

Renato Antônio Dedecek
Engenheiro-agrônomo, Doutor
Consultor de solos florestais
renato.dedecek@colaborador.embrapa.br

Marilice Cordeiro Garrastazu

Engenheira florestal, Mestre
Pesquisadora da Embrapa Florestas
marilice.garrastazu@embrapa.br

Denise Jeton Cardoso

Engenheira florestal, Doutora
Pesquisadora da Embrapa Florestas
denise.cardoso@embrapa.br

Apresentação

Mudanças de uso do solo causam alterações na cobertura vegetal e, associadas a estas, podem ocorrer modificações nos estoques de carbono e nitrogênio do solo. O efeito das mudanças de uso do solo sobre os estoques de carbono tem reflexos na capacidade do ecossistema natural ou manejado contribuir para a mitigação de gases de efeito estufa. O estoque de carbono do solo é o resultado do balanço entre os processos de adição e perdas de carbono, e os sistemas de uso do solo interferem diretamente neste equilíbrio dinâmico. Associada à dinâmica do carbono, os estoques de nitrogênio do solo regulam processos de adição de biomassa e são igualmente importantes na definição de usos sustentáveis com capacidade de acúmulo de carbono.

Sistemas florestais e agrícolas foram avaliados na região de Caçador, SC, visando entender como estes usos do solo afetam a dinâmica do carbono e do nitrogênio e qual é o potencial de acúmulo de C e N ao longo do perfil de um Cambissolo. Em 2007 foram coletadas amostras para avaliação da concentração do C, N, e a composição isotópica do C (^{12}C e ^{13}C) e do N (^{14}N e ^{15}N), estimando-se a origem do C acumulado no solo.

Este trabalho é direcionado a pesquisadores na área de Ciência do Solo e Engenharia Florestal e aos tomadores de decisão quanto à oferta de políticas públicas alinhadas com a Política Nacional de Mudanças Climáticas e visa divulgar resultados de pesquisa com espécies florestais. Por outro lado, a divulgação dos resultados busca contribuir na recomendação de alternativas de usos do solo com potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

Sergio Gaiad
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento

Sumário

Introdução.....	9
Material e métodos	11
Resultados e discussão	17
Dinâmica do C e N no solo.....	17
Origem do C no solo	26
Considerações finais.....	31
Referências.....	32

Estoques de carbono e nitrogênio em solos florestais e agrícolas na região de Caçador, SC

Josiléia Acordi Zanatta

Rosana Clara Victoria Higa

Renato Antonio Dedecek

Marilice Cordeiro Garrastazu

Denise Jeton Cardoso

Introdução

As intervenções em ecossistemas naturais, substituindo a vegetação nativa por diversos sistemas de uso do solo, resulta em alterações nos estoques de matéria orgânica do solo (MOS), com reflexos no conteúdo dos principais componentes da MOS, carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) (NEUFELDT, 2006; PEGORARO et al., 2011). Vários fatores afetam a magnitude e a rapidez com que essas mudanças positivas ou negativas ocorrem, incluindo a natureza da exploração, tipo de solo, clima e vegetação original (POST; KWON, 2000; PAUL et al., 2002). Em trabalho de meta-análise, Guo e Gifford (2002) analisaram em detalhe as alterações que ocorreram nos estoques de C dos solos em função da substituição de florestas nativas por diferentes tipos de usos. Os autores concluíram que houve um decréscimo médio de 13% no C orgânico do solo, quando convertido para plantio de florestas, e de 42%, quando para cultivos agrícolas anuais. As perdas foram relacionadas ao incremento no processo erosivo, aceleração da decomposição do material orgânico, redução no aporte de material vegetal ou diferenças na qualidade dos resíduos vegetais aportados.

As perdas de MOS em áreas manejadas adquirem importância devido a três aspectos fundamentais e complementares entre si: (a) anualmente, cerca de 1,2 Pg C são lançados na atmosfera devido a alterações nos sistemas de uso e manejo dos solos agrícolas (METZ et al., 2007); (b) o solo é um dos compartimentos que mais armazenam C na Terra; em termos globais, 2,5 vezes mais C é retido no solo do que na vegetação terrestre e duas vezes mais C que o presente na atmosfera (LAL, 2002), e (c) a redução da MOS implica na perda da qualidade do solo, refletindo na sustentabilidade do ambiente (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009) e na capacidade produtiva do solo, aumentando a necessidade de insumos externos e a pressão pela abertura de novas áreas.

Para Zinn et al. (2005), as perdas de MOS de solos convertidos de vegetação nativa para cultivo agrícola são devido às maiores taxas de decomposição da MOS. As maiores taxas de decomposição ocorrem devido às perturbações físicas do solo, que implicam no rompimento dos macroagregados (reduz a proteção física da MOS), expondo a MOS protegida aos processos microbianos, contribuindo, dessa forma, para aumentar as taxas de emissão de CO₂ para a atmosfera. Todavia, em florestas plantadas, o manejo menos intenso se comparado a sistemas agrícolas, deve favorecer o acúmulo de C no solo, tanto que trabalhos recentes desenvolvidos no Brasil têm verificado aumento dos estoques no solo (MAFRA et al., 2008; PULROLNIK et al., 2009; GATTO et al., 2010). Quando comparado ao uso agrícola, solos florestais apresentam maior capacidade de acumular C e N, devido à maior biomassa depositada anualmente na forma de manta orgânica e de raízes mortas (LAL, 2005). Ainda nas espécies florestais, observa-se maior capacidade de ciclagem de nutrientes que nas plantas de ciclo anual, em virtude do sistema radicular permanente e profundo que absorve elementos de camadas subsuperficiais, retornando-os à superfície pela deposição de serapilheira (CALDEIRA et al., 2002).

O Brasil tem 6,5 milhões de hectares de áreas com plantações florestais, 75% com espécies do gênero *Eucalyptus* e 25% do gênero *Pinus* (ANUÁRIO..., 2012). As plantações de *Pinus* estão concentradas na Região Sul do Brasil, enquanto o *Eucalyptus* encontra-se distribuído, com zonas de franca expansão na fronteira do Centro Oeste e da Região Sul do país. Dessa forma, há crescente interesse no estudo do comportamento dos solos florestais quanto à sua capacidade de armazenar carbono e nutrientes, em resposta aos diferentes usos do solo. A avaliação dessas mudanças auxiliará na compreensão das alterações no ambiente, contribuindo para o planejamento do uso do solo e do manejo florestal que maximize o ganho de carbono no solo.

O objetivo deste trabalho foi quantificar os teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio total, bem como identificar a origem do C alocado no solo e o percentual de substituição do C original remanescente de florestas nativas.

Material e métodos

O estudo foi conduzido no município de Caçador, região meio-oeste de Santa Catarina, no Alto-Vale do Rio do Peixe, integrando a microrregião do Contestado. As áreas avaliadas localizam-se em propriedades particulares e na reserva florestal da Embrapa. As coordenadas geográficas do município são 26° 46'30" S e 51° 00'54" e altitude de 1.000 m. O clima da região, segundo Köppen-Geiger, é temperado subtropical úmido – Cfb, com normais climatológicas (1977 a 2004) para temperatura média anual de 16,3 °C e precipitação acumulada média anual de 1.716 mm. A economia da região desenvolveu-se através da extração e industrialização da madeira nativa e, atualmente, 42% da área do município destina-se às florestas plantadas com *Pinus* spp. Os cultivos agrícolas são mais recentes e têm no cultivo de milho a maior área plantada.

O estudo foi localizado em uma microbacia típica da região de Caçador, com áreas representativas dos diferentes usos de solo (Figuras 1A, 1B e 2). Os solos predominantes são Cambissolos com textura muito argilosa, derivados do intemperismo de rochas sedimentares e vulcânicas, classe geológica Grupo São Bento (ZANINI et al., 1997). A vegetação nativa da região é Floresta Ombrófila Mista (FOM) (IBGE, 1992). Dentro da microbacia, em situação semelhante de posição da paisagem e de classe de solo, foram selecionados talhões, com plantios de *Pinus* (*P. taeda* - PT; *P. elliottii* - PE), *Eucalipto viminalis* (EU), *Araucaria angustifolia* (AR) e *Zea mays* (Milho, MI). Os usos do solo quanto ao tempo de condução da cultura principal e outras práticas foram caracterizados na Tabela 1. Apesar das incertezas sobre o histórico de uso, relatos de moradores mais antigos certificam que os usos atuais foram estabelecidos sobre áreas de florestas nativas por volta do ano de 1950, com períodos indefinidos de tempo pelos quais as áreas foram mantidas apenas com vegetação espontânea.

Além das áreas plantadas, foi selecionada uma área de vegetação nativa preservada, como sistema de referência. A área avaliada de EU foi de rebrota sem desbrota com 6 anos de idade. No plantio do eucalipto, o solo foi coveado e fertilizado com 100 g cova⁻¹ da fórmula NPK 6-30-6, sem adubação na rebrota. As mudas de eucalipto foram de origem seminal, plantadas em espaçamento 3 m x 2 m. Os cultivos de PE e PT estavam com 7 e 20 anos, respectivamente, e, ambos os cultivos estavam na 2ª rotação e não receberam adubação. O espaçamento para o *P. elliottii* e *P. taeda* foi 2,5 m x 2,5 m. O plantio de araucária foi estabelecido com espaçamento de 2,5 m x 2,5 m, sem adubação. Na safra avaliada, o plantio de milho no verão foi cultivado com 300 kg ha⁻¹ de NPK, na fórmula de 5-20-20 em sucessão ao pousio invernal.

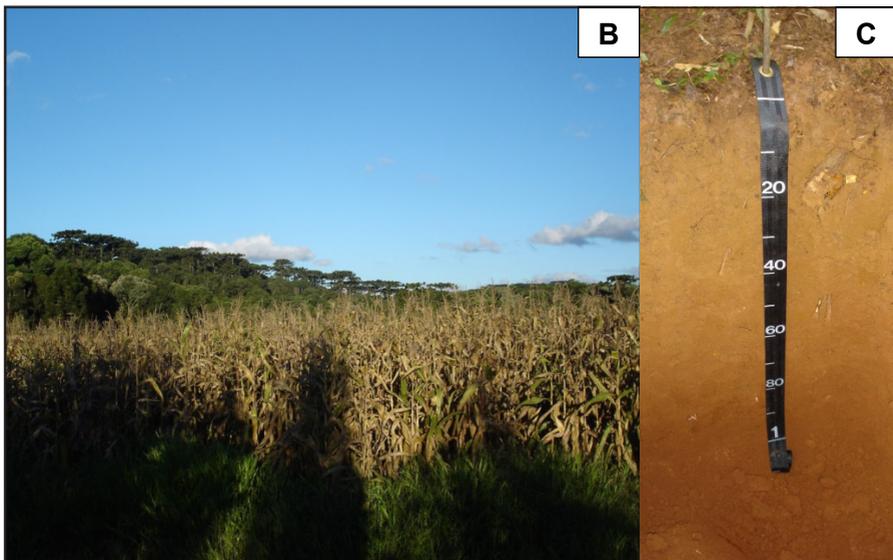
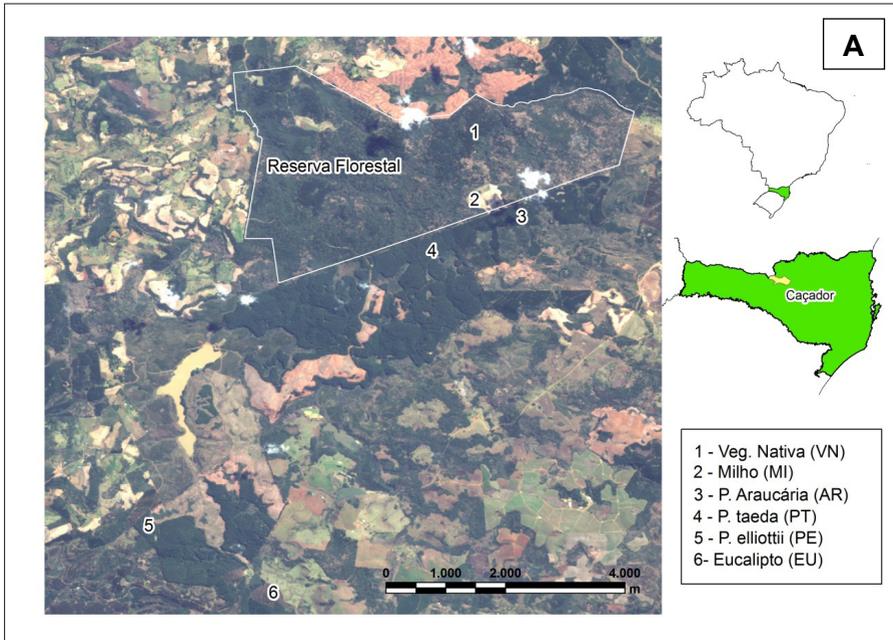


Figura 1. Mapa da distribuição dos locais avaliados em Caçador (A), com imagem dos locais de coleta (B) e perfil do solo (C).

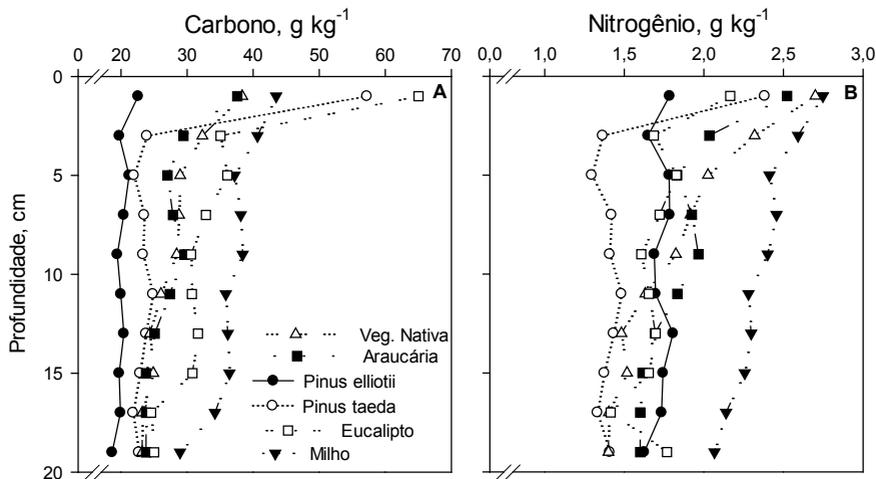


Figura 2. Teores de carbono orgânico total (A) e nitrogênio total (B) no perfil do solo (0-20 cm) em sistemas de uso agrícola e florestal.

Tabela 1. Caracterização dos sistemas de uso do solo avaliados em Caçador, SC.

Tratamento	Espécie cultivada	Idade da cultura (anos)	Histórico
Vegetação nativa (VN)	Mata Araucária	Desconhecido	Área de vegetação nativa antropizada, predomínio de araucária e sub-bosque pouco desenvolvido.
Plantio. Araucária (AR)	<i>Araucaria angustifolia</i>	25	Plantio de araucária, com espaçamento 2,5 x 2,5 m, sem adubação.
Pinus I (PE)	<i>Pinus elliotii</i>	10	<i>P. elliotii</i> plantado em 1997, em espaçamento 2,5 m x 2,5 m, adubado.
Pinus II (PT)	<i>Pinus taeda</i>	20	<i>P. taeda</i> plantado em 1987, em espaçamento 2,5 m x 2,5 m, sem adubo.
Eucalipto (EU)	<i>Eucalyptus viminalis</i>	02	Rebrota de eucalipto com 2 anos, implantado em 1990, em espaçamento 2,0 m x 2,0 m, com adubo.
Milho (MI)	<i>Zea mays</i>	Anual	Cultivo de milho no verão em espaçamento de 0,9 m entre linhas, 55.000 pl. ha ⁻¹ , pousio invernal, com adubação.

Em cada área foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm, em subcamadas, no final do inverno (agosto de 2007). As amostras de solo foram coletadas de trincheiras abertas até 100 cm de profundidade (Figura 1C). Para determinação da distribuição granulométrica, pelo método descrito por Claessen (1997), coletaram-se amostras deformadas nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, determinando-se a classe textural de cada área (Tabela 2).

Foram obtidas também, a cada 2 cm no perfil do solo, amostras deformadas para análise dos teores de C e N do solo e da composição isotópica. As amostras de solo foram secas a 50 °C e moídas até passagem na peneira de 100 mesh (0,149 mm). Posteriormente, as amostras foram analisadas quanto ao teor de C e N por combustão seca em um analisador elementar Carlo Erba acoplado ao espectrômetro de massas Finnigan Delta-E, configurado com dupla entrada e duplo sistema coletor, no qual foi avaliado a composição isotópica do C (^{12}C and ^{13}C) e do N (^{14}N e ^{15}N). A razão isotópica foi expressa em partes por 1.000 (‰), com precisão de 0,1‰. O $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foi estabelecido em relação ao padrão de Pee Dee Belemnita (PDB) para ^{13}C e em relação a composição do N_2 atmosférico para ^{15}N . Nestas mesmas amostras foram procedidas as análises química e granulométrica do solo, descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Distribuição granulométrica do solo no momento de avaliação dos sistemas de uso em Caçador, SC.

Tratamento	Camada (cm)	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina	Classe textural
Vegetação Nativa	0-10	66	27	5	2	Muito argilosa
	10-20	71	24	3	3	Muito argilosa
Araucária	0-10	68	28	2	2	Muito argilosa
	10-20	68	28	2	2	Muito argilosa
Pinus I	0-10	40	43	10	7	Franco argilosa
	10-20	47	39	10	10	Franco argilosa
Pinus II	0-10	67	21	8	4	Muito argilosa
	10-20	47	48	3	3	Muito argilosa
Eucalipto	0-10	73	21	4	2	Muito argilosa
	10-20	71	25	3	3	Muito argilosa
Milho	0-10	66	25	2	2	Muito argilosa
	10-20	69	27	2	2	Muito argilosa

A partir da mesma trincheira, foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos (diâmetro de 50 mm e altura 40 mm) para a estimativa da densidade do solo nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm. O anel foi centralizado na camada de solo. Após o toailete, o solo contido no interior do anel foi pesado e seco a 105 °C até peso constante. A densidade do solo e os teores de C e N foram utilizados para estimar os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo pelo método da massa equivalente de solo para as camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 0-20 cm (SISTI et al., 2004). Adotou-se a massa do solo da vegetação nativa como referência.

Com os estoques de C e a composição isotópica do C do solo, estimou-se a contribuição do carbono oriundo das plantas com metabolismo C₄ (milho + vegetação espontânea), conforme descrito pelas equações a seguir:

$$\%C-C_x = (\delta^{13}C_x - \delta^{13}C_{VN}) / (\delta^{13}C_{XP} - \delta^{13}C_{VN}) \quad (\text{Equação 1})$$

$$\%C\text{-original} = 100 - \%C-C_x \quad (\text{Equação 2})$$

Em que, a contribuição do C-C_x refere-se à porção do C do solo que foi substituído pelo C oriundo do novo uso agrícola ou florestal, sendo que x pode assumir os valores dos sistemas MI, EU e PT; $\delta^{13}C_x$ é o delta de ^{13}C do solo com o novo sistema agrícola ou florestal; $\delta^{13}C_{VN}$ é o delta de ^{13}C do solo no sistema de vegetação nativa; $\delta^{13}C_{XP}$ é o delta de ^{13}C dos resíduos vegetais dos sistemas agrícolas ou florestais.

Devido à substituição de usos do solo com plantas C₃, assumiu-se que a taxa de mudança de C-C₃ na MOS derivado de mata nativa após 50 anos de substituição não seria alta. Assim, manteve-se a proporção de C-C₃ da camada de 0-20 cm e, considerou-se que o aumento na contribuição do C-C₃ para C solo seria proveniente da deposição de carbono de plantas de eucalipto e pinus. Por este pressuposto, podem ser subestimadas perdas de C-C₃ da floresta nativa para o período de cultivo das culturas C₃. No entanto, esta abordagem foi adotada por outros estudos no Brasil com sucessão eucalipto e pastagem (PEGORARO et al, 2011) e no Havai com sucessão cana-de-açúcar e eucalipto (BINKLEY et al., 2004).

Resultados e discussão

Dinâmica do C e N no solo

Os teores de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) no solo variaram no perfil do solo em função dos usos (Figura 1). O teor de CO no solo variou de 20 g kg⁻¹ a 65 g kg⁻¹, com maior concentração na camada de 0-2 cm nos plantios com eucalipto (EU) e *P. taeda* (PT) (Figura 2A). Já nas camadas abaixo de

10 cm, as concentrações foram inferiores a 40 g kg^{-1} , sendo a menor concentração observada no plantio de *P. elliottii* (PE). O MI apresentou a maior concentração em subsuperfície em relação aos demais sistemas. O plantio de araucária (AR) com valores intermediários de C entre os apresentados pelo PE e o MI, apresentou valores de C similares à vegetação nativa (VN) em todo o perfil do solo avaliado. Para plantios de eucalipto em diferentes regiões de Minas Gerais, Gatto et al. (2010) observaram teores de C inferiores aos medidos neste estudo. Caldeira et al. (2002) observaram valores de C no solo variando de $16,9 \text{ g kg}^{-1}$ a $42,3 \text{ g kg}^{-1}$ sob plantios de *Araucaria angustifolia*, $16,9 \text{ g kg}^{-1}$ a $38,6 \text{ g kg}^{-1}$ para *P. taeda*, e de 27 g kg^{-1} a 29 g kg^{-1} em Floresta Ombrófila Mista (FOM) Montana, em General Carneiro, Região Sul do Paraná. Apesar da semelhança climática e edáfica entre os locais, os teores de C tenderam a ser menores em General Carneiro do que em Caçador para FOM. Os valores mencionados na literatura foram descritos para camadas de 0-20 cm, o que leva a acreditar que a concentração de C foi diluída nesta camada, sendo coerentes os valores mais altos observados neste estudo. Se comparado com a média ponderada de C no perfil do solo dos sistemas - MI ($36,9 \text{ g kg}^{-1}$), EU ($34,2 \text{ g kg}^{-1}$), PT ($26,6 \text{ g kg}^{-1}$), PE ($20,2 \text{ g kg}^{-1}$), AR ($27,5 \text{ g kg}^{-1}$) e VN ($27,8 \text{ g kg}^{-1}$) - os valores são comparáveis aos observados por Caldeira et al. (2002).

Os teores de NT variaram no perfil do solo entre $1,7 \text{ g kg}^{-1}$ a $2,7 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 0-2 cm. Observou-se uma redução gradativa dos teores no perfil, atingindo valores de $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ a $2,4 \text{ g kg}^{-1}$, na camada da 18-20 cm (Figura 2B). Santos (2007)

verificou variações muito semelhantes às observadas neste estudo (2,4 g kg⁻¹ a 4,4 g kg⁻¹ na camada de 0-10 cm e de 1,4 g kg⁻¹ a 2,3 g kg⁻¹ na camada de 10-20 cm) em áreas de vegetação nativa sob Cambissolo no litoral paranaense. Em Latossolos, na camada de 0-10 cm de profundidade Gama-Rodrigues et al. (2008), avaliando diferentes sítios, observaram valores de nitrogênio variando de 1,0 g kg⁻¹ a 2,4 g kg⁻¹ em áreas nativas, e 0,4 g kg⁻¹ a 1,4 g kg⁻¹ em plantios de eucalipto com 7 anos. Rangel e Silva (2007), em Latossolos, mensuraram valores de NT ligeiramente maiores aos deste estudo para vegetação nativa (3,1 g kg⁻¹), eucalipto (2,5 g kg⁻¹), pinus (2,3 g kg⁻¹) e cultivo de milho (1,81 g kg⁻¹).

Os valores de concentração de C e N no perfil do solo afetaram os estoques (Figura 2) e a taxa de sequestro de C e acúmulo do NT no solo (Tabela 3). Observou-se maiores estoques de C na camada de 0-20 cm nos sistemas EU e MI (> 55 Mg ha⁻¹), e menor no sistema PE (33 Mg ha⁻¹), resultando em taxas de sequestro de C positiva da ordem de 0,202 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no sistema EU e 0,310 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no sistema MI. Quanto ao NT, os maiores conteúdos foram verificados no sistema agrícola (MI), com tendência de aumento tanto na camada de 0-10 cm como na camada subsuperficial (10-20 cm). O acúmulo de NT no solo resultou em taxas positivas apenas no sistema agrícola (18,8 kg N ha⁻¹ ano⁻¹) (Tabela 3).

Tabela 3. Taxas de sequestro de carbono e acúmulo de nitrogênio nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 0-20 cm de sistemas florestais e agrícola, em Caçador, SC, em relação à vegetação nativa.

Tratamento	0-10 cm	10-20 cm	0-20 cm
----- Mg C ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----			
Plantio Araucária	-0,015	0,008	-0,007
<i>Pinus elliottii</i>	-0,154	-0,087	-0,240
<i>Pinus taeda</i>	-0,020	-0,022	-0,042
Eucalipto	0,123	0,079	0,202
Milho	0,120	0,190	0,310
----- kg N ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----			
Plantio Araucária	-1,4	3,4	2,0
<i>Pinus elliottii</i>	-6,0	4,4	-1,6
<i>Pinus taeda</i>	-8,4	-1,5	-9,9
Eucalipto	-5,1	2,8	-2,3
Milho	5,3	13,6	18,8

Comparativamente a estudos desenvolvidos no Brasil e na Região Sul com usos de solo semelhantes, os resultados deste estudo são convergentes. Guo e Gifford (2002) analisaram em detalhe as alterações que ocorreram nos estoques de C dos solos como variáveis das mudanças no uso da terra. Os resultados indicaram que a substituição de florestas nativas por florestas plantadas levaram a um decréscimo médio de 13% no C orgânico do solo, sem mencionar o tempo necessário para atingir este percentual. No entanto, isso foi influenciado pela precipitação e a espécie arbórea plantada. A introdução de espécies folhosas (ex: eucalipto) não causou mudanças significativas no C orgânico do solo, enquanto que o plantio de coníferas levou a uma redução no estoque de C em 15%. A mesma tendência foi observada em um Latossolo argiloso sob cerrado, convertido em cultivo de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, onde foi observada uma redução de 17% no estoque de C orgânico na camada de 0-60 cm depois de 20 anos, ocorrendo principalmente na

camada de 0 a 15 cm de profundidade (ZINN et al., 2002). Na Região Sul, Lima et al. (1995) observaram que o pinus foi eficiente na manutenção dos estoques de carbono do solo, sendo capaz de aumentar os estoques na camada superficial. O mesmo foi evidenciado por Mafra et al. (2008), que verificaram que os reflorestamentos com pinus e araucária mantiveram os estoques de carbono orgânico, na camada mais superficial, em níveis semelhantes ou maiores do que os da mata natural. Estudos com povoamentos de eucalipto são bastante raros nessa região, principalmente pela pouca área destinada a esta espécie que é sensível a geadas. No entanto, no Rio Grande do Sul, onde a cultura tem expandido a área plantada, Zalameña (2008), comparando vegetação nativa, reflorestamento de eucalipto e sistemas anuais em plantio direto, verificaram maiores estoques de C na vegetação nativa, seguida de reflorestamento e sistema agrícola sem diferenças estatísticas entre estes usos do solo.

As diferenças nos teores e estoques de C e N no solo dos sistemas avaliados possivelmente estão associadas a quantidade de resíduos depositados em superfície pela parte aérea e a aquela incorporada pelo sistema radicular em subsuperfície (LUGO; BROWN, 1993; PULROLNIK et al., 2009; PEGORARO et al., 2011). Tal contribuição em florestas subtropicais nativas com araucária varia de 5,9 Mg ha⁻¹ (FERNANDES; BACKES, 1998) a 7,7 Mg ha⁻¹ de matéria seca ao ano (FIGUEIREDO FILHO et al., 2003). No caso de reflorestamentos, Wisniewski e Reissmann (1996) verificaram que o acúmulo anual de serapilheira de *P. taeda* com 15 anos de idade, na região de Ponta Grossa, PR, variou de 6,8 Mg ha⁻¹ a 8,5 Mg ha⁻¹ de massa seca, enquanto para *P. elliotii*, Hinkel e Panitz (1999) mensuraram deposição anual de serapilheira equivalente a 4,6 Mg ha⁻¹. Melo e Resck (2003) contabilizaram a deposição de resíduos anual de eucalipto com 06 anos de idade equivalentes a 9,5 Mg ha, com predomínio de folhas (85%).

Além da adição da serapilheira, nos sistemas florestais, deve-se considerar conjuntamente a atuação das micorrizas, que contribuem para aumentar a matéria orgânica promovendo a ciclagem de nutrientes, especialmente N e P (TORO et al., 1998). No cultivo do milho, quando bem manejado, a adição de resíduos vegetais pode atingir $8,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ (ZANATTA et al., 2007), e, como no caso deste estudo, deve ser somada a adição de resíduos das plantas espontâneas do pousio invernal.

As diferenças de deposição de resíduos em sistemas florestais e também agrícolas são atribuídas a fatores ligados a características genéticas de cada espécie, idade e densidade do plantio, bem como a fertilidade do solo, características climáticas e práticas de manejo (SCHUMACHER; POGGIANI, 2000; FIGUEIREDO-FILHO et al., 2003; MOREIRA; SILVA, 2004; FERNANDES et al., 2007). Povoamentos de eucalipto geralmente sofrem um processo mais intenso de desrama natural em relação a outras espécies, como as do gênero *Pinus*, e isso propicia maior deposição de resíduos sobre o solo, possivelmente aumentando o conteúdo de C. Entre as espécies do gênero *Pinus*, a principal diferença na adição de biomassa decorre do potencial de crescimento. O *P. elliottii* tem crescimento mais lento em relação ao *P. taeda* e, possivelmente, indica menor potencial de adição de biomassa total em condições ambientais similares (HIGA et al., 2012). Portanto, os maiores depósitos de resíduos florestais na superfície do solo corroboram os maiores teores de C na superfície dos sistemas PT e EU.

Todavia, para *P. taeda*, os maiores teores de C na camada superficial não refletiram em maiores estoques na camada de 0-20 cm. A qualidade da serapilheira depositada possivelmente explica essa diferença na alocação do C no solo. Embora, o tratamento PT tenha potencial de adição de biomassa se comparado a cultivos agrícolas, as concentrações de C e N no solo abaixo de 2 cm foram pouco afetadas, o que sugere uma

restrição à incorporação de C e N no solo. Comparativamente ao eucalipto, que proporciona entrada de resíduos lábeis com predomínio de folhas e galhos finos, o pinus deposita resíduos de decomposição mais lenta, devido ao alto teor de lignina e baixa concentração de N das acículas (WANG et al., 2010), principal componente da serapilheira (HINKEL; PANITZ, 1999; SCHUMACHER et al., 2002). A qualidade das acículas dificulta a ação dos microrganismos decompositores e retarda as transformações e a incorporação do C dos resíduos no solo. A menor taxa de decomposição das acículas, quando comparada a outros resíduos vegetais, propicia ao longo do ciclo da cultura, acúmulo considerável de serapilheira sobre o solo, em quantidades que podem atingir aproximadamente 20 Mg ha⁻¹ aos 14 anos (HIGA, 2005). Evidentemente essa baixa taxa de decomposição dos resíduos florestais do pinus também deve restringir a incorporação às camadas superficiais e justifica as reduzidas alterações nos estoques de C em camadas abaixo de 2 cm de profundidade, como também reportado por Wiesmeier et al. (2009).

Em relação às florestas com araucária, tanto no sistema natural (VN) quanto em plantios (AR), as concentrações e os estoques de C e N foram similares entre si e com tendência de maiores valores em relação aos plantios de pinus (PT e PE). Observações visuais do remanescente da VN e do plantio de AR sugerem que as taxas de adição de resíduos são reduzidas, devido ao sub-bosque ser pouco desenvolvido em ambos os sistemas em comparação a resultados reportados em outros estudos, cujos valores de adição superam 10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de serapilheira (BACKES et al., 2005). Watzlawick et al. (2002) reportam o efeito do estágio sucessional da floresta na adição de serapilheira e sub-bosque e, conseqüentemente, no aporte de C ao solo da Floresta Ombrófila Mista. Comparativamente, os autores relatam maiores quantidades de C depositado no sub-bosque de estágios de regeneração inicial do que nos mais avançados, o que sugere

a influência da entrada de luz no sistema. Neste estudo, acredita-se que o ambiente do sistema VN encontra-se em um estágio sucessional avançado que limita o desenvolvimento de outras espécies pela restrição a entrada de luz, afetando o aporte de C pelo sub-bosque.

Igualmente, na área de araucária plantada (AR), possivelmente o fator que impede o desenvolvimento de um sub-bosque também é a restrição de entrada de luz, devido ao espaçamento adensado adotado, prejudicando inclusive o desenvolvimento das araucárias que já apresentavam sinais de competição.

Os maiores estoques de C na camada de 0-20 cm foram verificados no sistema MI e EU. Além da adição da parte aérea, deve-se considerar nestes sistemas a contribuição do sistema radicular. Para o sistema EU, a prática da talhadia provavelmente promoveu aumento da biomassa de raízes neste sistema, corroborando os maiores estoques de C nas camadas de 10-20 cm e 0-20 cm. A rebrota das plantas de eucalipto desencadeia fisiologicamente um incremento na biomassa de raízes novas, que pode contribuir para os maiores estoques de C do sistema EU, principalmente em profundidade. Avaliando regimes de manejo de eucalipto, Pegoraro (2007) verificou que a condução da rebrota resultou em 25% mais C na camada de 0-120 cm em relação à reforma com mudas a partir de sementes.

No sistema anual de produção agrícola, as raízes são anualmente renovadas, proporcionando assim maior incorporação da matéria orgânica ao solo, se comparadas às florestas plantadas. Estudos realizados com crescimento de raízes *in situ* indicaram que a contribuição relativa de raízes de gramíneas para o C do solo foi em média 2 vezes maior que a da parte aérea, com coeficiente de humificação variando de 1,5% a 3,7% (RASSE et al., 2005). Outros estudos também têm enfatizado a contribuição das raízes para o acúmulo de C

no solo, enfatizando a maior proporção de lignina dos tecidos radiculares em comparação com a serapilheira (LEMMA et al., 2007).

Ressalta-se também, que para ambos os sistemas (EU e MI) seja considerado o efeito da adubação nas culturas principais, favorecendo o aporte de resíduos e a reciclagem de nutrientes, embora para EU foi observado acúmulo de N somente na camada de 10-20 cm (Tabela 3). No sistema agrícola (MI), apesar do manejo mais intensivo se comparado a sistemas florestais, o aporte de nutrientes via fertilizante (N, P, e K) é anual, o que favorece a maior produção de biomassa, principalmente pelo sistema radicular do milho, e também o desenvolvimento de plantas espontâneas no período invernal.

A contribuição do N fertilizante na determinação dos estoques de C e N do solo são reafirmados pelo perfil do delta de ^{15}N (Figura 3). O sistema MI apresentou valores de delta ^{15}N menores em relação aos demais sistemas em praticamente todo perfil. A elevada ciclagem de N na forma inorgânica no solo possibilita a perda seletiva de ^{15}N em detrimento do ^{14}N . Como resultado se observa um empobrecimento na relação $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, com redução do delta ^{15}N . A maior ciclagem de N certamente foi decorrente da entrada anual de fertilizante mineral.

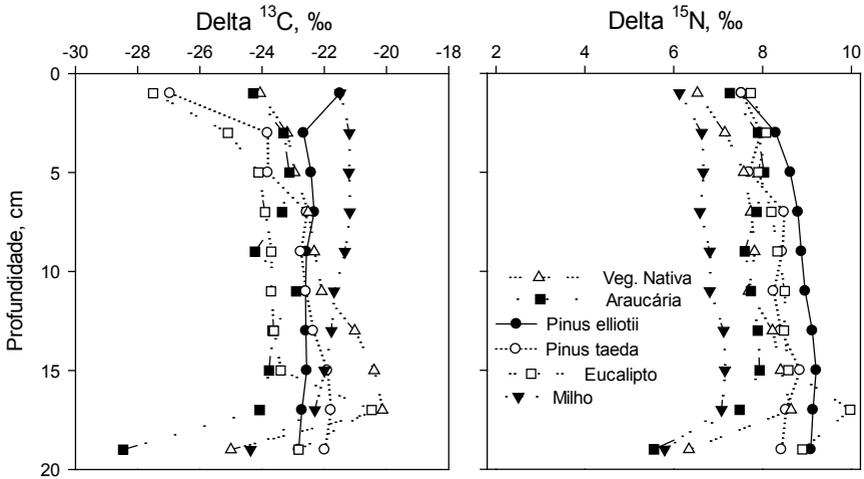


Figura 3. Delta de ¹³C e de ¹⁵N no perfil do solo de sistemas de uso agrícola e florestal.

Origem do C no solo

A origem do C dos sistemas foi discriminada pelo método da abundância natural do ¹³C. Em relação ao sistema que mais acumulou C no solo (MI), o gradual enriquecimento do isótopo de C mais pesado (¹³C) (Figura 3) indica aumento da contribuição do C oriundo do milho (parte aérea e raízes) e também de vegetações espontâneas para o C do solo. Em relação à VN (média perfil: -24,2‰), o delta ¹³C do solo no sistema MI foi maior (média perfil: -21,8‰), o que indica uma substituição do C remanescente da VN por C oriundo do milho, cuja marcação de C dos resíduos é de -14‰. Comparando-se a diferença entre o delta ¹³C do solo no sistema MI e na VN, verifica-se que a substituição do C remanescente pelo C do milho foi maior na superfície do que na subsuperfície (Figura 4A). Em relação ao total de C estocado no solo do sistema MI (60,7 Mg ha⁻¹), o C que derivou das plantas de milho foi 13,7 Mg ha⁻¹, variando de 1,7 na camada superficial (0-2 cm) até 1,1 em camadas subsuperficiais (Figura 4A). A média linear anual de substituição do C do solo foi de 0,46%. Outros estudos em solos tropicais estimaram valores similares ao obtido

neste estudo para substituição do C original por C de plantas C₄ (5-31%) (ROSCOE et al., 2001; WILCKE; LILIENFEIN, 2004), enquanto na Argentina, Oelbermann e Echarte (2011) estimaram que a contribuição do milho ao C do solo foi superior a 80%. A taxa de substituição de C no presente estudo deve ter sido reduzida, devido ao elevado conteúdo de argila do solo, contribuindo para a estabilização e proteção da matéria orgânica original.

O C remanescente da floresta original no sistema MI foi equivalente a 77% na média do perfil, correspondendo a 47 Mg ha⁻¹. Esse valor de C remanescente foi levemente superior ao C observado no sistema VN (45,6 Mg ha⁻¹), o que pode indicar que o sistema VN ao longo do tempo tem aporte de resíduos inferior ao do sistema com milho, e por isso a manutenção ou aumento dos estoques de carbono no solo é mais lento. Isto também converge para as observações visuais do sub-bosque pouco desenvolvido da área de vegetação natural, como já mencionado anteriormente.

O sistema EU entre os sistemas florestais foi o que mais substituiu o C original, com magnitude de 11,6 Mg ha⁻¹ (Figura 4B). Ao contrário do milho, o acúmulo de C derivado do eucalipto foi observado principalmente nas camadas superficiais (0-8 cm), chegando a 86% na camada de 0-2 cm, e 38% na camada de 2-4 cm. Abaixo de 8 cm não foi observada presença de C oriundo dos resíduos de eucalipto. A alocação de novo C em camadas superficiais indica que as raízes do eucalipto contribuem menos que o esperado para o aumento do C do solo no sistema.

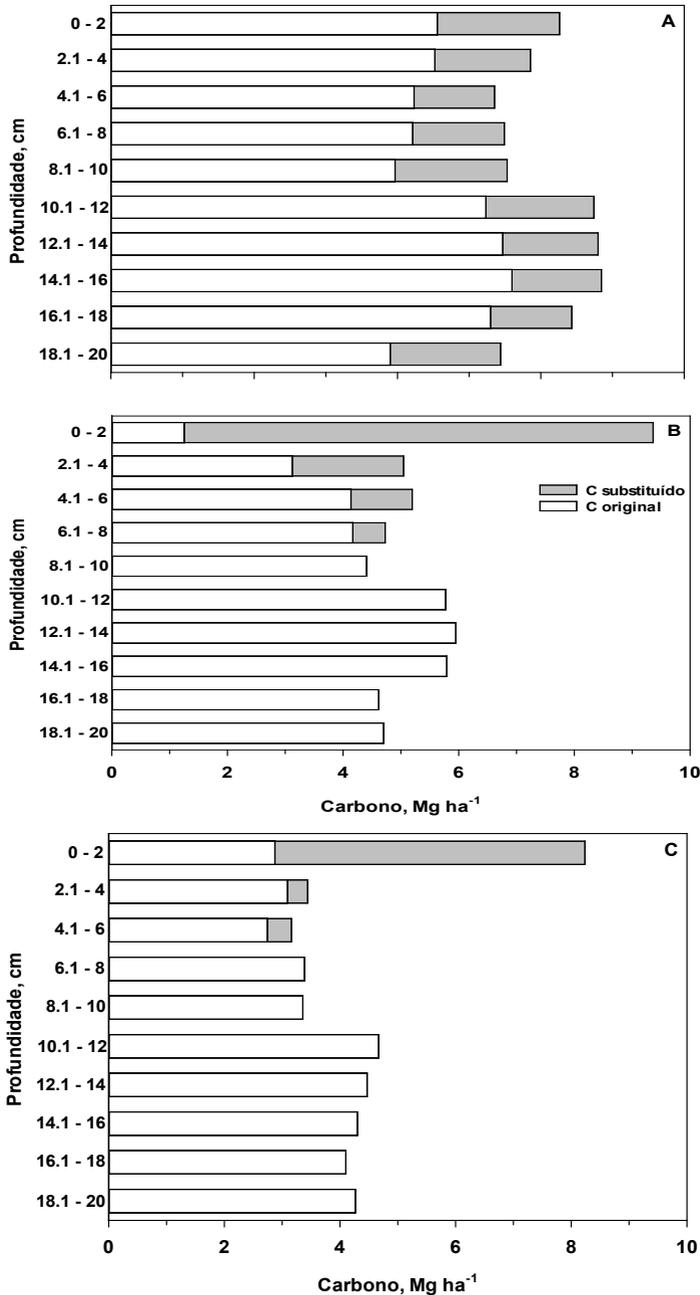


Figura 4. Origem do carbono acumulado no solo no sistema de uso agrícola (A), no sistema florestal com eucalipto (B) e pínus (C).

O milho substituiu o C original em proporção semelhante ao EU, mas a alocação atingiu camadas mais profundas. Esse comportamento pode ser atribuído ao tipo de sistema radicular das culturas (fasciculada e pivotante, respectivamente) e também à quantidade de resíduos radiculares. Além disso, a adubação anual no milho provavelmente estimula a produção de biomassa radicular em detrimento do sistema EU, onde as adubações são realizadas apenas na fase juvenil da cultura. Corroborando esses resultados, Pulrolnik et al. (2009) verificaram que após 20 anos de cultivo de eucalipto, a contribuição dessa espécie para o C do solo foi de apenas 5% na camada de 0-10 cm ($0,25\% \text{ ano}^{-1}$). Para um cultivo em 4ª rotação (32 anos) Lima et al. (2006) verificaram que a substituição foi de 0,43%, 0,40%, 0,20% para as camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm de profundidade, respectivamente.

O C derivado do pinus foi estimado apenas no sistema PT. O sistema PE apresentou valores de delta ^{13}C menos negativos do que a VN, e similares em algumas camadas em relação ao delta ^{13}C do sistema MI (Figura 3). Esta semelhança indica que, possivelmente, parte do C alocado neste sistema recebeu contribuição de plantas C_4 , provavelmente do sub-bosque ou de gramíneas antes do plantio e, portanto, não seria adequado empregar a metodologia em questão para estimativa do C derivado do PE.

O sistema PT apresentou delta ^{13}C de -26,9 na camada superficial até -22,0 na camada de 18-20 cm. Observa-se, contudo, que a substituição do C foi ainda mais superficial se comparado ao sistema EU, atingindo mudanças no C até a camada de 6 cm (Figura 3). Na camada superficial (0-2 cm) houve a maior substituição com 65% do C derivado do pinus (Figura 4C). Nas camadas subseqüentes, a substituição foi ao redor de 10%, totalizando $6,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ na camada de 0-6 cm. Wilcke e Lilienfein (2004) em condições tropicais observaram

que a substituição do C do solo cultivado com *Pinus caribea* restringiu-se à camada de 0-15 cm, atingindo aos 20 anos de cultivo, 29% do C total. As estimativas deste estudo e demais citadas corroboram resultados de Neufeldt (2006) e provavelmente refletem o fato da serapilheira do pinus ficar acumulada na superfície do solo, formando uma camada orgânica (5-20 cm) que somente é incorporada ao solo muito lentamente (NEUFELDT et al., 2002).

Apesar dos poucos resultados disponíveis sobre a taxa de substituição do C original por C derivado de florestas plantadas, esses convergem para a conclusão de que as alterações não são tão rápidas como observado para sistemas agrícolas. Essa constatação também leva a considerar que o aporte de C via raízes das florestas plantadas é relativamente baixo nas camadas superficiais avaliadas (0-20 cm). Porém, estudos de Wilcke e Lilienfein (2004) observaram que abaixo de 120 cm houve acúmulo de C oriundo de plantas C_3 , indicando que possivelmente a contribuição do C das raízes de florestas plantadas adultas ocorre em camadas abaixo de 1 m de profundidade e que a maioria dos estudos está negligenciando este estoque.

Considerações finais

Os sistemas florestais monitorados apresentaram comportamento diferenciado quanto à capacidade de acúmulo de C e NT no solo. Embora os sistemas EU e PT tenham apresentado maiores teores de C na camada superficial, apenas o cultivo do eucalipto manejado sob regime de talhadia proporcionou aumento dos estoques de C na camada de 0-20 cm do solo em comparação à condição de vegetação nativa. Porém, o acúmulo de C neste sistema ainda foi inferior ao verificado no sistema agrícola. O sistema agrícola também promoveu os maiores estoques de NT no solo, seguido pelos sistemas de vegetação nativa e araucária introduzida.

O sistema EU e PT promoveram substituição parcial do C original do solo nas camadas superficial, sendo a substituição do EU maior do que a do PT. O sistema MI contribui com valor absoluto de C substituído semelhante ao do sistema EU, mas a alocação atinge camadas mais profundas.

Referências

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF: ano base 2011. Brasília, DF: ABRAF, 2012. 145 p.

BACKES, A.; PRATES, F. L.; VIOLA, M. G. Produção de serapilheira em Floresta Ombrófila Mista, em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 155-160, jan./abr. 2005.

BINKLEY, D.; KAYE, J.; BARRY, M.; RYAN, M. G. First rotation changes in soil carbon and nitrogen in a *Eucalyptus* plantation in Hawaii. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 1713-1719, 2004.

CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F.; SCHUMACHER, V.; BALBINOT, R.; SANQUETA, C. R. Carbono orgânico em solos florestais. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Ed. dos Autores, 2002. p. 1191-214.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FERNANDES, A. V.; BACKES, A. Produtividade primária em floresta com *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 51, n. 1, p. 63-78, 1998.

FERNANDES, M. E. B.; NASCIMENTO, A. A. M.; CARVALHO, M. L. Estimativa da produção anual de serapilheira dos bosques de mangue no Furo Grande, Bragança-Pará. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 949-958, 2007.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MORAES, G. F.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J. de. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 13, n. 1, p. 11-18, 2003.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1521-1530, 2008.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAES, R. F. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantação de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, p. 1069-1079, 2010.

GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and use change: a meta analysis. **Global Change Bio**, v. 8, p. 345-360, 2002.

HIGA, R. C. V. **Dinâmica de carbono *Pinus taeda* L. voltadas a exigências climáticas e práticas silviculturais.** [Gainesville]: University of Florida, 2005. 62 f. Relatório final pós doutorado. Não publicado.

HIGA, R. C. V.; XAUD, H. A. M.; ACCIOLY, L.; LIMA, R. M. B.; VASCONCELLOS, S.; RODRIGUES, V. G. S.; CARVALHO, C. J. R.; SOUZA, C. R.; LEONIDAS, F. C.; TONINI, H.; FERRAZ, J. B. S.; XAUD, M.; OLIVEIRA JUNIOR., M. C. M.; COSTA, R. S. C. Estoque de biomassa em florestas plantadas, sistemas agroflorestais, florestas secundárias e Caatinga. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B.J.R.; MACHADO, P. L. O.; URQUIAGA, S. (Ed.). **Estoques de carbono e emissão de gases de efeito estufa na agricultura brasileira.** Brasília, DF: Embrapa; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. p. 105-158.

HINKEL, R.; PANITZ, C. M. N. Estudo comparativo da produção de serapilheira de uma área de mata atlântica e de um povoamento de *Pinus elliotii* Engelm. var. *elliottii* na Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Biotemas**, Florianópolis, v. 12, n. 1, p. 67-93, 1999.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92 p. (Manuais técnicos em geociências, 1).

LAL, R. The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 76, p. 1-30, 2002.

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

LEMMA, B.; NILSSONC, I.; KLEJAC, D. B.; OLSSONB, M.; KNICKERD, H. Decomposition and substrate quality of leaf litters and fine roots from three exotic plantations and a native forest in the southwestern highlands of Ethiopia. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 39, n. 9, p. 2317-2328, Sept. 2007.

LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C.; CERRI, C. C.; FRANZON, J. F. Efeito da substituição de campo natural por Pinus na dinâmica de carbono do solo. **Revista do Setor Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 14, p. 7-12, 1995.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; SMYTH, T. J.; MOREIRA, M. S.; LEITE, F. P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 235, p. 219-231, 2006.

LUGO, A. E.; BROWN, S. Management of tropical soil as sinks or sources of atmospheric carbon. **Plant and Soil**, Holanda, v. 149, p. 27-41, 1993.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. de F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A. de; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 217-224, mar./abr. 2008.

MELO, J. T.; RESCK, D. V. S. **Retorno ao solo de nutrientes da serapilheira de *Eucalyptus camaldulensis* no Cerrado do Distrito Federal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 17 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 109).

METZ, B.; DAVIDSON, O. R.; BOSCH, P. R.; DAVE, R.; MEYER, L.A. (Ed.). **Climate change 2007: mitigation of climate change: contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

MOREIRA, P. R.; SILVA, O. A. da. Produção de serapilheira em área reflorestada. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 49-59, 2004.

NEUFELDT, H. Geoecological drivers of cerrado heterogeneity and (13) C natural abundance in oxisols after land-use change. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 891-900, 2006.

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, p. 151-164, 2002.

OELBERMANN, M.; ECHARTÉB, L. Evaluating soil carbon and nitrogen dynamics in recently established maize-soybean intercropping systems. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 62, p. 35–41, 2011.

PAUL, K. I.; POLGLASE, P. J.; NYAKUENGAMA, J. G.; KHANNA, P. K. Change in soil carbon following afforestation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 168, p. 241-257, 2002.

PEGORARO, R. F. **Sequestro de carbono e alterações bioquímicas da matéria orgânica de solos cultivados com eucalipto**. 2007. 140 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R. da; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; FONSECA, S.; DAMBROZ, C. S. Carbon and nitrogen stocks in organic matter fractions in alfisol under eucalypt and pasture. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 21, p. 261-273, 2011.

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

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 1125-1136, 2009.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. **Plant and Soil**, The Hague, v. 269, p. 341–356, 2005.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J.; VASCONCELLOS, C. A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio in a Cerrado's Oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 104, p. 185-202, 2001.

SANTOS, E. **Carbono, nitrogênio e relação C/N em Gleissolo e Cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da Floresta Ombrófila Densa, Antonina – PR. 2007.** 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M.; BARBIERI, S. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes no corte raso de uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. na região de Quedas de Iguaçu-PR.** Santa Maria, RS: UFSM, 2002. Relatório de pesquisa.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEF, 2000. p. 285-306.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 39-58, 2004.

TORO, M.; AZCO, R.; BAREA, J. M. The use of isotopic dilution techniques to evaluate the interactive effects of *Rhizobium* genotype, mycorrhizal fungi, phosphatesolubilizing rhizobacteria and rock phosphate on nitrogen and phosphorus acquisition by *Medicago sativa*. **New Phytologist**, Oxford, v. 138, n. 2, p. 265-273, Feb. 1998.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 743-755, 2009.

WANG, H.; LIU, S.; MO, J.; WANG, J.; MAKESCHIN, F.; WOLFF, M. Soil organic carbon stock and chemical composition in four plantations of indigenous tree species in subtropical China. **Ecological Research**, Tsukuba, v. 25, p. 1071–1079, 2010.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHUMACHER, M. V. Fixação de carbono em floresta ombrófila mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Ed. dos Autores, 2002. p. 153-173.

WIESMEIER, M.; DICK, D. P.; RUMPEL, C.; DALMOLIN, R. S. D.; HILSCHER, A.; KNICKER, A. Depletion of soil organic carbon and nitrogen under *Pinus taeda* plantations in Brazilian grasslands (*Campo*). **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, p. 347-359, 2009.

WILCKE, W.; LILIENFEIN, J. Soil carbon-13 natural abundance under native and managed vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 827-832, 2004.

WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e de nutrientes em plantios de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa, PR. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 39, n. 2, p. 435-442, 1996.

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

ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F. C. B.; MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 510-519, 2007.

ZANINI, L. F. P.; BRANCO, P. M.; CAMOZZATO, E.; RAMGRAB, G. E. **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil**. Brasília, DF: CPRM, 1997. 259 p.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, p. 28-40, 2005.

ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 166, p. 285-294, 2002.

Embrapa

Florestas

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

CGPE 10981