

## Comissão 2.4 Química do solo

# FRAÇÕES DE CARBONO EM TOPOSSEQUÊNCIAS DE SOLOS SOB EUCALIPTO COM DIFERENTES HISTÓRICOS DE USO<sup>(1)</sup>

Elen Alvarenga Silva<sup>(2)</sup>, Carlos Alberto Silva<sup>(3)</sup>, Ivo Ribeiro Silva<sup>(4)</sup>, João José G. S. M. Marques<sup>(3)</sup>, Elias Frank de Araujo<sup>(5)</sup>, Samara Andrade de Carvalho<sup>(6)</sup>, Sérgio Henrique Godinho Silva<sup>(7)</sup> & Nilton Curi<sup>(3)</sup>

### RESUMO

No Brasil, boa parte dos plantios florestais tem sido realizada em solos que apresentam algum grau de degradação física, química ou biológica. A proteção ao solo fornecida pelas árvores, em função da deposição de serapilheira, constitui um dos processos de recuperação de áreas degradadas, e, como a matéria orgânica está relacionada com muitos dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, ela se caracteriza como um fator-chave na manutenção da qualidade ambiental de sistemas florestais. Assim, objetivou-se neste trabalho caracterizar frações da matéria orgânica em solos sob cultivo mínimo de eucalipto com diferentes históricos de uso e posições na paisagem. O estudo foi realizado em três hortos florestais (HFs): Terra Dura, Canafístula e Sanga das Pedras, cultivados com eucalipto no Estado do Rio Grande do Sul. Os solos foram amostrados nas profundidades de 0-5, 5-20 e 20-40 cm. Na profundidade de 0-5 cm, a maioria dos Argissolos dos HFs estudados apresentou teores de carbono orgânico (CO) superiores aos de matas nativas adjacentes. Nas áreas cultivadas, há maior armazenamento de CO no HF Canafístula, sendo notados, em geral, menores teores de CO no terço inferior da encosta em relação às outras posições das topossequências avaliadas. O índice de humificação, em geral, é maior nas áreas de mata em comparação às áreas cultivadas; contudo, ele varia em função da profundidade do solo, da posição amostrada na topossequência e do HF avaliado. Nas profundidades

---

<sup>(1)</sup> Extraído da dissertação de Mestrado da primeira autora, financiado pela FAPEMIG e CMPC Celulose Riogandense Ltda. Recebido para publicação em 15 de agosto de 2011 e aprovado em 18 de junho de 2012.

<sup>(2)</sup> Pós-doutoranda em Ciência do Solo, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG). E-mail: elenalvarenga@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA. E-mails: csilva@dcs.ufla.br; jmarques@dcs.ufla.br; niltcuri@dcs.ufla.br

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Solos - UFV. E-mail: ivosilva@ufv.br

<sup>(5)</sup> Engenheiro Florestal. CMPC Celulose Riogandense Ltda. E-mail: efaraujo@cmpcrs.com.br

<sup>(6)</sup> Mestrando em Ciência do Solo, UFLA. E-mail: samaraandrade@yahoo.com.br

<sup>(7)</sup> Estudante de Graduação, UFLA. E-mail: shenrike@hotmail.com

de 0-5 e 5-20 cm, a abundância natural de  $^{13}\text{C}$  dos HFs é similar à das áreas de mata nativa, porém há maior teor de  $^{13}\text{C}$  na camada mais profunda dos solos cultivados, o que sinaliza para a contribuição à matéria orgânica do solo (MOS) de C oriundo das pastagens que antecederam o eucalipto.

Termos de indexação: fracionamento químico, substâncias húmicas, horizonte A enterrado, recuperação de áreas degradadas,  $^{13}\text{C}$ .

#### SUMMARY: CARBON FRACTIONS IN TOPOSEQUENCES OF SOILS UNDER EUCALYPTUS WITH DIFFERENT USE HISTORY

*In Brazil, most forest stands have been planted on soils with some degree of physical, chemical or biological degradation. The protection of the trees for the soil, depending on the litter deposition, is a driving force of the restoration process of degraded areas. Since organic matter is related to many of the physical, chemical and biological soil properties, it is characterized as a key factor for the maintenance of the environmental quality of forest systems. The purpose of this study was to characterize organic matter fractions in soils with eucalyptus under minimum tillage from positions in the landscape with different histories of soil use. The study was conducted in three forest stands (FST): Terra Dura, Canafístula and Sanga das Pedras with eucalyptus in the State of Rio Grande do Sul. The soils were sampled in the layers 0-5, 5-20 and 20-40 cm. In the 0-5 cm layer of the Ultisols, most FST studied had a higher organic carbon (OC) content than in adjacent native forest. In cultivated areas, the OC storage was greatest in FST Canafístula, with, in general, lower OC levels in the footslope in relation to the other toposequence positions. In general, the humification index was greater in forests than in the crop areas, but it varied according to the soil depth, the sampled toposequence position and the FST. In the 0-5 and 5-20 cm layer, the natural abundance of  $^{13}\text{C}$  in FSTs was similar to the native forests, however, the  $^{13}\text{C}$  levels were higher in the deepest layer of the cultivated soils, indicating the contribution to soil organic matter (SOM) of C derived from the pastures that preceded eucalyptus.*

*Index terms: chemical fractionation, humic substances, buried A horizon, restoration of degraded areas,  $^{13}\text{C}$ .*

## INTRODUÇÃO

Em áreas degradadas, é comum o solo apresentar algum grau de degradação física, química ou biológica, em função da remoção total ou parcial do horizonte superficial, juntamente com a matéria orgânica. A implantação de florestas nesses solos representa uma alternativa de recuperação, além de colaborar com o sequestro de gás carbônico da atmosfera (Duda et al., 1999; Barros & Comerford, 2002; Carvalho et al., 2010).

A sustentabilidade das plantações florestais depende, principalmente, do sistema e da intensidade de manejo a elas aplicados. Segundo Chaer & Tótola (2007), as áreas submetidas a sistemas de implantação que priorizam a manutenção da camada orgânica do solo agruparam-se mais próximas da área da vegetação nativa. O não revolvimento do solo, de acordo com Bayer et al. (2000), é outro fator de acúmulo de matéria orgânica no solo (MOS). A adoção do cultivo mínimo, com o preparo do solo restrito às linhas de plantio, mantém a cobertura vegetal sobre o solo e preserva a MOS, que se caracteriza como um fator-

chave na manutenção de sistemas florestais. A não preservação da MOS altera a qualidade do solo, aumentando o risco de compactação e erosão, e também gera alterações no suprimento de água e de nutrientes (Barros & Comerford, 2002; Silva et al., 2006; Siqueira et al., 2008).

Em povoamentos florestais, as copas das árvores e a serapilheira constituem fatores importantes na proteção da superfície do solo e contribuem para a recuperação de áreas degradadas. O aumento da MOS reduz a erosão hídrica, o encrostamento e aumenta a infiltração de água (Barbosa & Faria, 2006; Pires et al., 2006). Do mesmo modo, o fluxo de água e de nutrientes mostra-se dependente da MOS, que atua na estruturação e estabilidade dos agregados e contribui para aumentar a retenção de água, complexar metais pesados, estabilizar o pH e aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC) (Barros & Comerford, 2002; Siqueira et al., 2008). Em plantações de eucalipto, a taxa de decomposição da serapilheira tende a ser menor que em outras coberturas, devido ao baixo valor nutricional do material, o que propicia o acúmulo de matéria orgânica

na camada superficial do solo (Zancada et al., 2003). Em Minas Gerais, o plantio de eucalipto por várias décadas em solos anteriormente sob pastagens degradadas resultou em maior acúmulo de C em várias frações da MOS (Lima et al., 2006, 2008). Também em Minas Gerais, no Vale do Rio Doce, Leite et al. (2010) verificaram que, após vários ciclos de eucalipto, os níveis de MOS foram recuperados, mas para patamares intermediários entre os notados em áreas de pastagens degradadas e de solos sob matas nativas.

A MOS é constituída de frações em vários estádios de decomposição, com destaque para as substâncias húmicas (SHs), de modo que o fracionamento químico pode auxiliar na sua caracterização. As SHs podem ser utilizadas como indicadoras da qualidade do solo (Canellas et al., 2001; Fontana et al., 2001). Uma de suas frações, os ácidos fúlvicos, constitui-se de moléculas de baixa massa molar e de maior solubilidade e é uma das principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions dentro do perfil do solo (Hue & Licudine, 1999). Os ácidos húmicos apresentam baixa solubilidade nas condições de pH encontradas na maioria dos solos e são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica nas camadas superficiais de solos arenosos; os ácidos fúlvicos são responsáveis pela maior geração de cargas em solos argilosos (Mendonça & Rowell, 1996). A fração humina consiste em um aglomerado de materiais húmicos e não humificados e apresenta baixa reatividade, porém é responsável pela agregação de partículas do solo e, na maioria dos solos tropicais, representa o compartimento que mais armazena C (Rice & MacCarthy, 1990; Benites et al., 2003).

A abundância natural de  $^{13}\text{C}$  é outro modo de caracterizar a MOS e está relacionada com a via fotossintética de fixação de isótopos de C da vegetação predominante: plantas do tipo  $\text{C}_3$  discriminam o  $^{13}\text{C}$  em relação ao  $^{12}\text{C}$ , gerando no solo teores menores de  $^{13}\text{C}$ ; e plantas do tipo  $\text{C}_4$  fixam o  $^{13}\text{C}$  em maiores proporções do que as do tipo  $\text{C}_3$ , o que gera no solo maior abundância natural de  $^{13}\text{C}$  (Golchin et al., 1995; Martinelli et al., 2009). A variação na abundância natural de  $^{13}\text{C}$  tem sido empregada para avaliar o impacto de usos e manejos distintos do solo em frações da MOS em vários locais do Brasil (Sá et al., 2001; Sisti et al., 2004). Em florestas plantadas, mais especificamente, essa técnica tem sido empregada para estimar a contribuição à MOS dos resíduos de espécies arbóreas, após implantação em áreas de pastagens do tipo  $\text{C}_4$  (Lima et al., 2006; Balieiro et al., 2008). Como as espécies arbóreas apresentam via fotossintética do tipo  $\text{C}_3$  e a maioria das gramíneas nas regiões tropicais e subtropicais possui via fotossintética do tipo  $\text{C}_4$ , os valores da abundância natural de  $^{13}\text{C}$  podem confirmar o aporte e estabilização de novo material orgânico em solos sob cultivo mínimo do eucalipto implantado em áreas anteriormente degradadas.

Assim, objetivou-se neste estudo a caracterização da matéria orgânica, determinando-se o teor de

carbono, C nas substâncias húmicas e a abundância natural de  $^{13}\text{C}$  em topossequências de solos sob eucalipto com diferentes históricos de uso.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo, foram coletadas amostras de solo em plantações de eucalipto de três hortos florestais (HFs), com diferentes históricos de uso, denominados de Terra Dura, Canafístula e Sanga das Pedras, pertencentes à CMPC Celulose Riograndense Ltda., no Estado do Rio Grande do Sul, nos municípios de Eldorado do Sul e Pantano Grande. O clima da região é o Cfa, subtropical úmido sem estiagem, a temperatura média do mês mais quente é superior a  $22\text{ }^\circ\text{C}$  e a do mês mais frio varia de  $3$  a  $18\text{ }^\circ\text{C}$  (Brasil, 1973), com precipitação pluvial média anual entre  $1.500$  e  $1.600$  mm (Rio Grande do Sul, 2002).

A localização dos HFs no RS pode ser visualizada na figura 1. A coleta de amostras de solo sob matas nativas explica-se pelo fato de se tratar de referências de qualidade ambiental e de preservação de C a serem perseguidas localmente. Nesses locais, a MOS tende a ser mais preservada, visto que o aporte de resíduos é elevado, as taxas de decomposição da MOS tendem a diminuir, o controle da erosão é naturalmente eficaz e a lixiviação de C tende a ser reduzida, por ser eficiente a ciclagem de C e de outros nutrientes (Lal, 2004; Bronick & Lal, 2005). Além disso, em áreas de matas, há tempo maior para humificação da MOS, sendo bastante provável a prevalência de moléculas orgânicas mais condensadas em relação àquelas de menor massa molar (Martin et al., 1998). Os solos dos HFs apresentavam horizonte A enterrado, situado logo abaixo de um horizonte com características intermediárias; acima deles, foi identificada, no campo, a formação de um novo horizonte A.

Em cada horto, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de  $0-5$ ,  $5-20$  e  $20-40$  cm, em quatro posições de paisagem dispostas numa topossequência (terço inferior, terço médio inferior, terço médio superior e terço superior de encosta), que receberam, respectivamente, as seguintes identificações: TI, TMI, TMS e TS. As profundidades de solo selecionadas corresponderam, na maioria dos hortos, ao horizonte A sobrejacente, horizonte intermediário e horizonte A enterrado, respectivamente. Foram coletadas também amostras no solo sob mata nativa (MN) adjacente (área-referência), em cada horto.

A classificação dos solos estudados foi feita a partir de trincheiras abertas nas quatro posições da paisagem, dentro de cada HF, assim como na condição de mata nativa, visando associar a morfologia de campo com os dados posteriormente obtidos em laboratório, conforme recomendado em trabalhos dessa natureza (Santos et al., 2005; Embrapa, 2006). Os solos foram classificados como Argissolo Vermelho

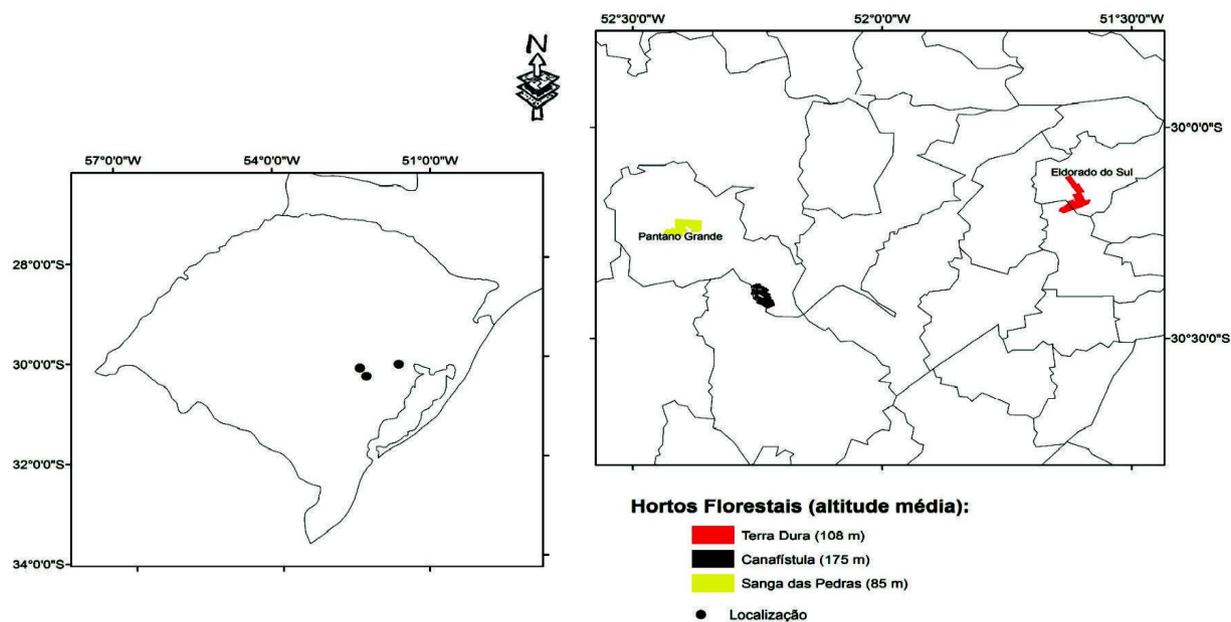


Figura 1. Localização dos hortos florestais em municípios do Rio Grande do Sul.

distrófico típico no HF Terra Dura, no HF Sanga das Pedras e nas matas adjacentes a ambos; Cambissolo Háptico Tb distrófico típico, no HF Canafístula; e Cambissolo Húmico distrófico típico, na mata adjacente (Embrapa, 2006). Por ocasião da coleta das amostras de solo, os HFs Terra Dura, Canafístula e Sanga das Pedras apresentavam 9, 6 e 4 anos, respectivamente, de implantação do eucalipto. O espaçamento de plantio do eucalipto foi de 3 x 3 m.

#### Determinação do teor de carbono orgânico

Na determinação do carbono orgânico (CO), foi utilizado o método descrito em Yeomans & Bremner (1988), de modo que 5 mL de  $K_2Cr_2O_7$  0,167 mol L<sup>-1</sup> e 10 mL de  $H_2SO_4$  concentrado foram adicionados em tubo de vidro contendo 300 mg de solo seco ao ar. Essa mistura foi, então, digerida em bloco digestor, previamente aquecido a 170 °C, sendo a digestão realizada durante 30 min; posteriormente, o dicromato remanescente no extrato digerido foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,4 mol L<sup>-1</sup>.

#### Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas

No fracionamento das substâncias húmicas, utilizou-se método adaptado de Benites et al. (2003), em que amostras de 1 g de solo seco ao ar foram colocadas em contato com 10 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitadas manualmente, por 30 s, permanecendo em repouso por 24 h. Ao término desse período, as amostras foram centrifugadas a 18.100 g, por 10 min, sendo, em sequência, armazenados os sobrenadantes. Ao precipitado foram adicionados 10 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, seguindo-se agitação manual e repouso

por 1 h. Após esse período, as amostras foram novamente centrifugadas e o sobrenadante, adicionado ao extrato anterior. A fração precipitada, insolúvel em meio alcalino (humina), foi liofilizada.

No sentido de separar as frações húmicas, ao sobrenadante obtido anteriormente foi adicionado ácido sulfúrico a 20 %, visando ajustar o pH para próximo de 2; esse extrato acidificado permaneceu em repouso por 18 h, para a decantação da fração ácido húmico. Posteriormente, o sobrenadante foi filtrado em membrana com poro de diâmetro de 0,45 µm, em sistema de filtragem a vácuo, com o intuito de separar as frações ácido fúlvico (solúvel em meio ácido) e ácido húmico (insolúvel em pH menor ou igual a 2).

#### Teor de carbono nas frações ácido fúlvico e ácido húmico

Para determinação do teor de carbono nessas frações, uma alíquota de 5 mL foi retirada de cada fração e foram adicionados 1 mL de  $K_2Cr_2O_7$  0,042 mol L<sup>-1</sup> e 5 mL de  $H_2SO_4$  p.a. concentrado; essa mistura foi, então, digerida por 30 min, a 150 °C. Posteriormente, as amostras foram tituladas com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L<sup>-1</sup>. O volume gasto na titulação de cada amostra foi anotado, e o teor de C nas frações ácido húmico e ácido fúlvico foi estimado de acordo com Benites et al. (2003).

#### Determinação do teor de carbono na fração humina

Após a secagem das amostras no liofilizador, 0,3 g do precipitado foi colocado em contato com 5 mL de  $K_2Cr_2O_7$  0,167 mol L<sup>-1</sup> e 10 mL de  $H_2SO_4$  concentrado. Essa mistura foi digerida a 150 °C por 30 min e, em

seguida, o extrato de digestão foi titulado com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L<sup>-1</sup> (Benites et al., 2003).

#### Abundância natural de <sup>13</sup>C

Nesta análise, foi utilizada uma amostra de solo composta das quatro posições avaliadas na paisagem (TI, TMI, TMS e TS), para cada profundidade e para cada HF. As amostras compostas foram passadas em peneira de 100 mesh, e a relação <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C foi medida em espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo (ANCA, GSL 20-20, Sercon, UK). A abundância natural de <sup>13</sup>C ( $\delta^{13}\text{C}$ ) foi expressa em partes por 1.000 (‰) em relação ao padrão Pee Dee Belemnita (PDB), conforme Bernoux et al. (1998).

#### Análise estatística

A análise estatística foi realizada em separado para cada horto florestal, e a análise de variância foi aplicada ao conjunto de dados para quantificar diferenças entre os locais (TI, TMI, TMS, TS e mata) em combinação com as profundidades de amostragem do solo, com aplicação do teste F. As médias foram comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com exceção do HF Canafístula e da situação TI no HF Sanga das Pedras, a profundidade de 0-5 cm revelou valores significativamente maiores de CO nos HFs em relação ao mesmo horizonte de solos sob as respectivas matas adjacentes (Figura 2). Na camada superficial do solo, foram observados menores teores de CO no terço inferior da encosta em relação às outras posições das topossequências avaliadas, cuja explicação carece de estudos posteriores mais detalhados. Rangel & Silva (2007) verificaram que os estoques e teores de C foram alterados pelos sistemas de uso e manejo do solo e que os maiores teores de C foram verificados nas áreas de mata nativa e de cultivo de eucalipto.

O solo da mata adjacente ao HF Canafístula apresenta um horizonte A húmico (horizonte espesso, escuro e rico em matéria orgânica), com 50 cm de profundidade, conforme observações e medições de campo. Por isso, ele revela um alto teor de CO, sobretudo na profundidade de 0-5 cm, sendo superior estatisticamente a todas as posições na paisagem e profundidades de solo do horto. A consequência dessa constatação é que os dados de laboratório relativos ao CO dos solos deste HF não suportam as observações de campo relativas à formação do novo horizonte A, uma vez que, no sistema mata nativa, esses valores são bastante altos, indicando elevada concentração de compostos orgânicos, diluindo a manifestação do aporte de novos materiais oriundos da decomposição e transformação da serapilheira no HF Canafístula.

Todas as áreas de mata nativa apresentaram diminuição no teor de C com a profundidade - fato comumente relatado na literatura (Canellas et al., 2000; Vezzani et al., 2001; D'Andrea, 2004; Neves et al., 2004; Portugal et al., 2008). Os teores de C na

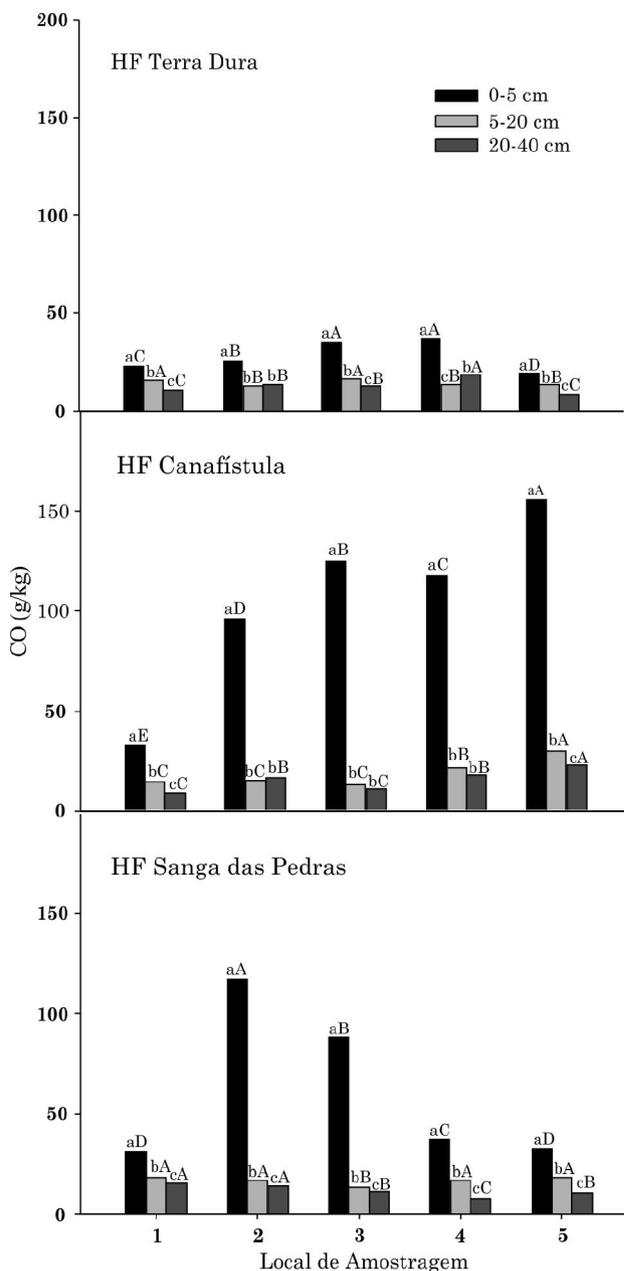


Figura 2. Teores de carbono orgânico dos solos dos HFs e matas adjacentes. Situações na topossequência: terço inferior, TI = 1; terço médio inferior, TMI = 2; terço médio superior, TMS = 3; terço superior, TS = 4; e mata nativa = 5. Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas três profundidades de solo de cada posição na topossequência, e maiúscula, entre as posições na topossequência com mesma profundidade de solo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

forma de fração ácidos fúlvicos (C-FAF) representaram de 4,5 a 26,5 % de CO; os de fração ácidos húmicos (C-FAH), de 11,9 a 42,1 %; e os de fração humina (C-FHM), de 51,1 a 79,5 % (Quadro 1). Esses valores indicam que o C-FHM compõe a maior parte do C-humificado dos solos estudados - fato esse também observado em outros estudos em solos brasileiros (Benites et al., 2001; Rangel & Silva, 2007; Barreto et al., 2008; Portugal et al., 2008).

Os teores de C na FHM, de modo geral, foram relativamente maiores na camada superficial (0-5 cm), decrescendo em profundidade. Essa fração caracteriza-se por estar fortemente associada à fração mineral do solo, sendo responsável por mecanismos de agregação das partículas do solo (Canellas et al., 2000; Benites et al., 2003; Barreto et al., 2008). Isso pode resultar em melhor estruturação do solo e, conseqüentemente, maior retenção de água - fato esse de extrema importância quando se visa à criação de um sistema sustentável. No caso das áreas de mata nativa adjacentes aos HFs, o teor de C-FHM não variou muito em profundidade, com exceção do HF Canafístula, em que o teor é menor em camadas mais profundas em relação às superficiais.

Em geral, houve enriquecimento da FAF em profundidade nos solos dos HFs, o que, possivelmente, evidencia maior solubilidade e mobilidade da FAF no perfil (Canellas et al., 2000; Benites et al., 2001). A proteção fornecida ao solo pelo acúmulo de serapilheira favorece uma maior infiltração de água no perfil do solo, o que pode ter proporcionado maior movimentação da FAF no perfil (Quadro 1). Na posição TI dos HFs Canafístula e Sanga das Pedras, houve maior teor de FAF na superfície. Esse fato pode estar relacionado com sua posição mais receptora de sedimentos na paisagem. No tocante aos sistemas de matas nativas adjacentes aos HFs, os teores de C-FAF aumentaram em profundidade no HF Canafístula, não sofreram alteração no HF Sanga das Pedras e foram maiores na superfície em relação ao subsolo do HF Terra Dura.

Se existe uma tendência de o C-FAF aumentar da superfície para o subsolo, isso não ocorre para o C-FAH, tendo em vista que se verificou, em geral, para os HFs Canafístula e Terra Dura aumento de C-FAH com o acréscimo da profundidade de solo, mas isso não ocorreu para o HF Sanga das Pedras. Essas variações e a ausência de um padrão regular de distribuição do C-FAH no perfil do solo foram notadas também por Pessoa et al. (2012).

As FAHs são menos móveis no perfil do solo, devido à sua pouca solubilidade em água, e tendem a se acumular nas camadas superficiais (Benites et al., 2001, 2003). Na maioria dos solos dos HFs estudados e das matas nativas adjacentes a estes, ocorreu aumento dos teores de C-FAH em profundidade (Quadro 1). O valor relativamente mais elevado dessa fração na profundidade de 20-40 cm nas posições TI, TMI e TMS dos HFs Terra Dura e Canafístula e TI e TMI do HF Sanga das Pedras indica a possibilidade

da ocorrência de um horizonte A enterrado nessa profundidade, uma vez que a FAH é considerada pouco móvel no solo (Barreto et al., 2008).

A presença de horizonte A enterrado é, também, respaldada por trabalhos de campo, uma vez que, com base no levantamento pedológico (Curi & Marques, 2008) e no testemunho de técnicos que atuam na região, lavouras e, ou, pastagens anteriores ao estudo e conduzidas sem o menor cuidado conservacionista (plântio morro abaixo, subsolagem no sentido do declive, total ausência de controle da erosão hídrica etc.) propiciaram a erosão de material de solos situados em cotas superiores e em relevos acidentados e a conseqüente redeposição e o soterramento do horizonte A original. O que reforça esses aspectos é a constatação inequívoca da ocorrência de horizonte A enterrado em todas as posições da paisagem dos HFs estudados. Cabe mencionar também que, nos trabalhos de campo, não foi verificada nenhuma indicação da translocação de compostos organometálicos no perfil dos solos, a qual seria associada ao processo de podzolização.

O índice de humificação (IH) foi calculado para cada HF e mata adjacente, consistindo na razão do C-FAH/C-FAF. Os resultados são apresentados no quadro 1. Valores dessa relação superiores a 1,0 indicam que, nessas áreas, há predominância da FAH em relação à FAF, o que representa um material orgânico mais estável e, como conseqüência, melhor qualidade do húmus (Canellas et al., 2001; Barreto et al., 2008). A relação C-FAH/C-FAF apresentou valores relativamente variáveis, em geral superiores a 1, mas não foi verificado qualquer padrão de comportamento do IH em função da profundidade de solo e dos hortos e áreas de mata amostrados.

A diminuição do valor do IH ao se aprofundar no solo, na maioria dos solos dos HFs estudados, indica maior concentração da FAH em superfície, o que está de acordo com Benites et al. (2001). Os solos das posições TMI do HF Terra Dura e TI dos HFs Canafístula e Sanga das Pedras apresentaram valor maior dessa relação na profundidade de 20-40 cm. Nessas situações, é possível pressupor a presença de horizonte A enterrado, uma vez que essas frações se movimentam pouco no perfil de solo e a posição mais receptora de sedimentos desses solos na paisagem local está em consonância com os dados obtidos. Já para as matas adjacentes aos HFs, o elevado valor do índice de humificação e seu aumento em profundidade podem representar a alta estabilidade da MOS nesses sistemas.

A fim de comparar as posições na paisagem, dentro de cada HF, fez-se a relativização dessas posições em relação à mata nativa, utilizando-se a seguinte equação:  $FAF(HF)/[FAF(HF) + FAF(Mata)]$ , situando-se todos os valores na faixa de 0 a 1. Essa equação foi aplicada para cada fração e profundidade de coleta nos HFs, e os resultados são apresentados no quadro 2. Com relação ao HF Terra Dura, a FAF do TI e TMS variou em relação aos demais pontos de coleta. Já no

Quadro 1. Percentual de C na forma de substâncias húmicas e índice de humificação (IH) para os solos dos diferentes hortos florestais estudados

Profundidade (cm)	Horto florestal Terra Dura			Horto florestal Canafístula			Horto florestal Sanga das Pedras					
	FAF <sup>(1)</sup>	FAH <sup>(2)</sup>	FHM <sup>(3)</sup>	IH <sup>(4)</sup>	FAF	FAH	FHM	IH	FAF	FAH	FHM	IH
0-5	12,1 bA	22,5 bA	65,4 aA	1,9	14,5 aA	23,8 bA	61,7 bC	1,6	14,6 aA	18,9 cB	66,5 aC	1,3
5-20	19,1 aA	19,9 bB	61,0 bB	1,0	6,8 cD	19,4 cB	73,8 aA	2,8	12,8 aB	21,1 bA	66,1 aB	1,6
20-40	19,6 aB	27,7 aA	52,8 cB	1,4	9,2 bD	32,4 aB	58,5 cB	3,5	13,3 aB	30,7 aA	56,0 bC	2,3
	Terço inferior da encosta											
0-5	15,8 aA	23,6 bA	60,7 aB	1,5	9,1 bB	17,7 cB	73,2 aB	2,0	7,8 bB	19,8 bB	72,4 aB	2,5
5-20	19,2 aA	26,8 bA	53,9 bC	1,4	22,2 aA	21,1 bB	56,7 bC	1,0	16,1 aA	17,8 cB	66,1 bB	1,1
20-40	12,1 bC	31,3 aA	56,6 bB	2,6	23,4 aA	25,5 aC	51,1 cC	1,1	15,7 aB	29,2 aA	55,1 cC	1,9
	Terço médio superior da encosta											
0-5	12,5 bA	21,6 aA	65,9 aA	1,7	7,2 bC	17,4 bB	75,5 aB	2,4	10,9 cB	19,2 aB	70,6 aB	1,8
5-20	24,3 aA	15,0 bB	60,7 bB	0,6	14,3 aC	16,7 bB	68,9 bB	1,2	18,0 bA	18,0 aB	64,0 bB	1,0
20-40	26,5 aA	22,2 aB	51,2 cB	0,8	15,6 aC	28,0 aC	56,4 cB	1,8	22,9 aA	11,9 bC	65,2 bB	0,5
	Terço superior da encosta											
0-5	15,5 aA	21,1 aA	63,4 aA	1,4	6,2 cC	15,5 bB	78,3 aA	2,5	14,4 bA	24,1 aA	61,5 aD	1,7
5-20	18,6 aA	22,8 aA	58,5 bB	1,2	17,2 bB	26,9 aA	55,9 cC	1,6	18,8 aA	18,3 bB	62,9 aB	1,0
20-40	16,0 aC	20,6 aB	63,3 aA	1,3	19,5 aB	16,2 bD	64,3 bA	0,8	20,9 aA	16,2 cB	62,9 aB	0,8
	Mata adjacente											
0-5	18,4 aA	23,4 bA	58,2 bB	1,3	6,3 cC	14,2 cB	79,5 aA	2,3	5,8 aB	14,1 aC	80,1 bA	2,4
5-20	14,3 aA	16,9 cB	68,8 aA	1,2	13,3 bC	30,5 bA	56,2 bC	2,3	4,5 bC	13,0 aC	82,4 aA	2,9
20-40	6,9 bD	32,0 aA	61,1 bA	4,6	15,6 aC	42,1 aA	42,3 cD	2,7	6,1 aB	14,3 aB	79,6 b A	2,3

(1) FAF = fração ácido fúlvico; (2) FAH = fração ácido húmico; (3) FHM = fração húmica; (4) IH = razão entre a percentagem de carbono nas frações ácido húmico e fúlvico. Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas três profundidades de cada situação, e maiúscula, entre as situações com mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

HF Canafístula, somente a posição TI dessa mesma fração variou em relação às demais. Esses resultados mostraram que, nesses HFs, a FAF movimentou-se mais, causando essa diferença para as demais posições, principalmente no TI da encosta.

No quadro 3 são apresentados o histórico de uso e a abundância natural de  $^{13}\text{C}$  das áreas estudadas. Convém ressaltar que, antes de qualquer uso mais impactante, todas as áreas estavam originalmente sob mata nativa, constituindo reserva de flora e fauna. Ao estudar as frações da matéria orgânica após três décadas de cultivo de eucalipto, Lima et al. (2008) concluíram que o cultivo dessa espécie florestal em áreas anteriormente ocupadas com pastagens mal manejadas promoveu a recuperação nos estoques de CO. Esses resultados indicam que adoção do cultivo mínimo e práticas que preservem a MOS contribuem para a recuperação de áreas degradadas. Os HFs Terra Dura e Sanga das Pedras foram cultivados antes da implantação do eucalipto. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  variaram de -27,6 a -19,8 ‰; até a profundidade de 20 cm, esses valores foram superiores a -20,7 ‰. Ao estudar o estoque de C em frações da MOS, Pulrolnik et al. (2009) encontraram o valor de abundância natural de  $^{13}\text{C}$  de -23,07 ‰ para área com eucalipto implantado em área anteriormente sob cerrado nativo. O valor médio encontrado na literatura para

plantas do tipo  $\text{C}_3$  é de -27 ‰, enquanto para plantas do tipo  $\text{C}_4$  é de -12 ‰ (Golchin et al., 1995; Alcântara et al., 2004).

Nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm, os teores de  $^{13}\text{C}$  ficaram muito próximos aos valores encontrados em horizontes equivalentes de solos sob mata. No entanto, para a profundidade de 20-40 cm, os valores dos HFs revelaram-se maiores que os da mata nativa adjacente, indicando a presença de C derivado de espécies  $\text{C}_4$ . Esse fato corrobora a hipótese da contribuição do eucalipto na formação de um novo horizonte A, à custa do aporte da serapilheira; os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  nas áreas de eucalipto eram de -28,3, -29,2 e -28,1 ‰, para os HFs Terra Dura, Canafístula e Sanga das Pedras, respectivamente. A contribuição à MOS de  $^{13}\text{C}$  da pastagem anteriormente cultivada nas áreas de eucalipto não pode ser também descartada. De acordo com Martinelli et al. (2009), há enriquecimento da  $\delta^{13}\text{C}$  de cerca de 2 ‰ da vegetação para a serapilheira e desta para o solo.

O aporte de C derivado do eucalipto, na profundidade de 5-20 cm, também resultou em valores menores de  $\delta^{13}\text{C}$  nos HFs Terra Dura e Canafístula do que no HF Sanga das Pedras. Esse fato corrobora a maior contribuição do C- $\text{C}_3$  derivado do eucalipto nos HFs com maior tempo de cultivo dessa essência florestal e dá suporte à origem

Quadro 2. Substâncias húmicas em relação aos valores encontrados sob mata nativa de cada horto florestal

Profundidade cm	Horto florestal Terra Dura			Horto florestal Canafístula			Horto florestal Sanga das Pedras		
	FAF <sup>(1)</sup>	FAH <sup>(2)</sup>	FHM <sup>(3)</sup>	FAF	FAH	FHM	FAF	FAH	FHM
Terço inferior da encosta									
0-5	0,4	0,5	0,5	0,7	0,6	0,4	0,7	0,6	0,5
5-20	0,6	0,5	0,5	0,3	0,4	0,6	0,7	0,6	0,4
20-40	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,7	0,7	0,4
Terço médio inferior da encosta									
0-5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5
5-20	0,6	0,6	0,4	0,6	0,4	0,5	0,8	0,6	0,4
20-40	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,7	0,7	0,4
Terço médio superior da encosta									
0-5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5
5-20	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,8	0,6	0,4
20-40	0,8	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,8	0,5	0,5
Terço superior da encosta									
0-5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,4
5-20	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,8	0,6	0,4
20-40	0,7	0,4	0,5	0,6	0,3	0,6	0,8	0,5	0,4

<sup>(1)</sup>FAF = fração ácido fúlvico; <sup>(2)</sup>FAH = fração ácido húmico; <sup>(3)</sup>FHM = fração húmica.

proposta do horizonte A mais superficial, à custa da serapilheira do eucalipto.

Adicionalmente, os dados do presente estudo indicam que os solos que suportam esses remanescentes de Floresta Atlântica na região subtropical do Brasil eram vegetados anteriormente por campos nativos com predomínio de espécies do tipo C<sub>4</sub>, mas que, com a mudança do clima para condições mais úmidas nos últimos ~1.100 anos, houve o favorecimento da expansão das florestas (Behling et al., 2001; Behling & Pillar, 2007), a exemplo do ocorrido na interface Cerrado-Amazônia, onde a expansão da Floresta Amazônica dominada por espécies arbóreas C<sub>3</sub> sobre áreas de cerrado com predominância de espécies C<sub>4</sub> ocorreu nos meados do Holoceno, quando o clima se tornou mais úmido (Martinelli et al., 1996).

Na maioria dos hortos florestais estudados (Curi & Marques, 2008), os maiores teores de C têm papel importante e suportam a hipótese da formação de um novo horizonte A nas áreas de cultivo de eucalipto, horizonte esse possivelmente originado da decomposição e transformação da serapilheira em compostos mais elaborados que estão constituindo a MOS. No campo, foi constatado que a cor do possível novo horizonte A formado, no geral, é 7,5YR 4/3 (úmida), com estrutura fraca média e pequena, blocos subangulares que se desfazem em grânulos, podendo

ser enquadrado como horizonte A fraco. Na literatura, não foram encontrados estudos científicos envolvendo a formação de um novo horizonte superficial em monocultivos florestais.

Muito se tem comentado na literatura não especializada acerca dos malefícios potenciais do cultivo do eucalipto ao solo e ambiente. Este trabalho indica que o cultivo mínimo dessa espécie, nessas condições subtropicais, ao propiciar a possível formação de um novo horizonte A, à custa do aporte da serapilheira e do maior aporte de C em relação à maioria das amostras de solo sob mata, está contribuindo para aumentar o armazenamento de C no solo, como tem sido reportado para áreas de plantio direto no RS (Amado et al., 2001), e isso contribui para a sustentabilidade da exploração florestal.

Há de se reconhecer que a discussão ligada à formação de novo horizonte A é subjacente àquela das frações de C presentes nas áreas cultivadas, tendo em vista que se trata de camada de solo de 5 cm de espessura, de modo que são demandados mais anos de estudo envolvendo cultivo de eucalipto para a comprovação desse horizonte. Outro ponto que merece atenção é procurar saber se o maior armazenamento de C nas áreas de eucalipto implica maior presença em solos de C lábil, como o C microbiano, C-fração leve e MOS particulada.

Quadro 3. Histórico de uso das áreas de coletas de amostras de solos nos diferentes hortos florestais e abundância natural de <sup>13</sup>C do solo

Horto florestal	Ano de plantio do eucalipto	Sistema de condução	Adubação e calagem	Uso anterior ao eucalipto	Profundidade		Mata adjacente $\delta^{13}C$
					cm	$\delta^{13}C$ ‰	
Terra Dura	2001	Reforma	100 g/planta de NPK 06:30:06 (Plantio), 200 kg/ha de NPK 15:05:30 (Cobertura) e 2.000 kg/ha de calcário	Reserva de flora e fauna, pecuária (pastagem nativa), depois cultivo agrícola e, em seguida, plantio de acácia-negra	0-5	-25,9	-26,3
					5-20	-24,1	-24,3
					20-40	-20,1	-23,5
Canafístula	1998	Rebrota	100 g/planta de NPK 06:30:06 (Plantio) e 200 kg/ha de NPK 15:05:30	Reserva de flora e fauna, pastagem nativa, seguida de plantio com acácia-negra	0-5	-27,6	-27,6
					5-20	-25,5	-25,5
					20-40	-21,7	-23,0
Sanga das Pedras	2003	Rebrota	100 g/planta de NPK 04:14:18 (Plantio)	Reserva de flora e fauna, pastagem nativa, seguida de plantio de soja	0-5	-25,6	-25,5
					5-20	-20,7	-20,7
					20-40	-19,8	-21,8

## CONCLUSÕES

1. Na profundidade de 0-5 cm, a maioria dos Argissolos estudados apresentou teores de carbono orgânico superiores aos das matas nativas adjacentes aos hortos florestais avaliados.

2. O maior armazenamento de carbono orgânico ocorre na camada superficial do solo, principalmente no horto florestal Canafístula; independentemente do horto florestal avaliado, foram observados menores teores de carbono orgânico no terço inferior da encosta, em relação às outras posições das topossequências avaliadas.

3. O índice de humificação, em geral, é maior nas áreas de mata em relação às áreas cultivadas; contudo, ele varia em função da profundidade do solo, da posição amostrada na topossequência e dos hortos florestais avaliados. Ocorreu, nas camadas mais profundas de solo, incremento nos teores de C-fração ácido húmico na maior parte dos solos dos hortos florestais.

4. Nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm, a abundância natural de  $^{13}\text{C}$  dos hortos florestais é similar à das áreas de mata nativa, porém há maior teor de  $^{13}\text{C}$  na camada mais profunda avaliada, o que sinaliza para uma contribuição à matéria orgânica de C oriundo das pastagens que antecederam o cultivo do eucalipto.

## LITERATURA CITADA

- ALCÂNTARA, F.A.; BUURMAN, P.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N. & ROSCOE, R. Conversion of grassy cerrado into riparian forest and its impact on soil organic matter dynamics in an Oxisol from southeast Brazil. *Geoderma*, 123:305-317, 2004.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:189-197, 2001.
- BALIEIRO, F.C.; PEREIRA, M.G.; ALVES, B.J.R.; RESENDE, A.S. & FRANCO, A.A. Soil carbon and nitrogen in pasture soil reforested with eucalyptus and guachape. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1253-1260, 2008.
- BARBOSA, J.H.C. & FARIA, S.M. Aporte de serrapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na reserva biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia*, 57:461-476, 2006.
- BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, J. & INÁCIO, E.S.B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1471-1478, 2008.
- BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L. M., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.487-592.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de  $\text{CO}_2$ . *R. Bras. Ci. Solo*, 24:599-607, 2000.
- BEHLING, H.; BAUERMAN, S.G. & NEVES, P.C.P. Holocene environmental changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil. *J. Southern Am. Earth Sci.*, 14:631-639, 2001.
- BEHLING, H. & PILLAR, V.D. Late quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazilian highland and their implication for conservation and management of modern Araucaria forest and grassland ecosystems. *Philos. Trans. R. Soc. B*, 362:243-251, 2007.
- BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, E.S. & MARTIN-NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, 25:661-674, 2001.
- BENITES, V.M.; MÁDARI, B. & MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado e de baixo custo. Rio de Janeiro, Embrapa, 2003. 7p. (Comunicado Técnico, 16).
- BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; NEILL, C. & MORAES, J.F.L. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. *Geoderma*, 82:43-58, 1998.
- BRASIL. Ministério de Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. (Boletim Técnico DNPEA, 30).
- BRONICK, C.J. & LAL, R. Soil structure and management: A Review. *Geoderma*, 124: 3-22, 2005.
- CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G.; SILVA, M.B. & SANTOS, G.A. Frações da matéria orgânica em seis solos de um topossequência no estado do Rio de Janeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:133-143, 2000.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RUMJANEK, V.M.; MORAES, A.A. & GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:1529-1538, 2001.
- CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R. & CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:277-289, 2010.
- CHAER, G.M. & TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1381-1396, 2007.
- CURI, N. & MARQUES, J.J.G.S.M. Levantamento semidetalhado de solos e estabelecimento de unidades de manejo em áreas da CMPC Celulose Riograndense Ltda. Guaíba, 2008. 150p.
- D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:179-186, 2004.

- DUDA, G.P.; CAMPELLO, E.F.C.; MENDONÇA, E.S.; LOURES J.L. & DOMINGOS, M. Avaliação de frações de matéria orgânica do solo para caracterização de áreas degradadas. R. Bras. Ci. Solo, 23:723-728, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, G.B.; ANJOS, L.H.C. & EBELING, A.G. Matéria orgânica em solos de tabuleiros na região norte Fluminense-RJ. Flor. Amb., 8:114-119, 2001.
- GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O. & CLARKE, P. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by <sup>13</sup>C natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state <sup>13</sup>C NMR spectroscopy in density fractions of Oxisol under forest and pasture. J. Soil Res., 33:59-76, 1995.
- HUE, N.V. & LICUDINE, D.L. Amelioration of subsoil acidity through surface application of organic manures. J. Environ. Qual., 28:623-632, 1999.
- LAL, R. Soil carbon to mitigate climate change. Geoderma, 123:1-22, 2004.
- LEITE, F.P.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Alterations of soil chemical properties by eucalyptus cultivation in five regions in the Rio Doce Valley. R. Bras. Ci. Solo, 34:821-831, 2010.
- 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. For. Ecol. Manag., 235:219-231, 2006.
- LIMA, A.M.N.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S.; DEMOLINARI, M.S.M. & LEITE, F.P. Frações da matéria orgânica do solo após décadas de cultivo de eucalipto no vale do Rio Doce – MG. R. Bras. Ci. Solo, 32:1053-1063, 2008.
- MARTIN, D.; SRIVASTAVA, P.C.; GHOSH, D. & ZECH, W. Characteristics of humic substances in cultivated and natural forest soils of Sikkim. Geoderma, 84: 345-362, 1998.
- MARTINELLI, L.A.; PESSEDA, L.C.R.; VALENCIA, E.P.E.; CAMARGO, P.B.; TELLES, E.C.C.; CERRI, C.C.; VICTÓRIA, R.L.; ARAVENA, R.; RICHEY, J.E. & TRUMBORE, S. Carbon-13 variation with depth in soils of Brazil and climate change during the Quaternary. Oecologia, 106:376-381, 1996.
- MARTINELLI, L.A.; OMETTO, J.P.H.B.; FERRAZ, E.S.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B. & MOREIRA, M.Z. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo, Oficina de Textos, 2009. 144p.
- MENDONÇA, E.S. & ROWELL, P.L. Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on effective cation - exchange capacity. Soil Sci. Soc. Am. J., 60:1888-1892, 1996.
- NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; MACEDO, R.L.G. & TOKURA, A.M. Estoque de carbono em sistema agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. Ci. Agrotecnol., 28:1038-1046, 2004.
- PESSOA, P.M.A.; DUDA, G.P.; BARROS, R.B.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A. & CORREA, M.M. Frações de carbono de Latossolo Húmico sob diferentes usos no Agreste Brasileiro. R. Bras. Ci. Solo, 36:97-104, 2012.
- PIRES, L.S.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; LEITE, F.P. & BRITO, L.F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro leste de Minas Gerais. Pesq. Agropec. Bras., 41:687-695, 2006.
- PORTUGAL, A.F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C.E.G.R. & WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. R. Bras. Ci. Solo, 32:2091-2100, 2008.
- PULROLNIK, K.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F. & BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha-MG. R. Bras. Ci. Solo, 33:1125-1136, 2009.
- RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoque de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 31:1609-1623, 2007.
- RICE, J.A. & MacCARTHY, P. A model of humin. Environ. Sci. Technol., 24:1875-1877, 1990.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Infra-Estrutura e Logística. Atlas eólico. Porto Alegre: SEMC, 2002. Disponível: <<http://www.semc.rs.gov.br>>. Acesso em: 2 mar. 2009.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE, S.P.F.; PICCOLO, M.C. & FEIGI, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. Soil Sci. Soc. Am. J., 65:1486-1499, 2001.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, A.; ROSA, J.D.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 30:329-337, 2006.
- SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S. & SILVA, C.A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., Eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Gênese, 2008. p.495-520.

- SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHAN, 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 Tillage Res.*, 76:39-58, 2004.
- VEZZANI, F.M.; TEDESCO, M.J. & BARROS, N.F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:225-231, 2001.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.
- ZANCADA, M.C.; ALMENDROS, G. & BALLESTA, R.J. Humus quality after eucalypt reforestations in Astúrias (Northern Spain). *Sci. Total Environ.*, 313:245-258, 2003.