

FERNANDA SCHULTHAIS

**ALTERAÇÕES NOS TEORES E TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO DO
CARBONO DE FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS
CULTIVADOS COM EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em Solos e
Nutrição de Plantas, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

FERNANDA SCHULTHAIS

**ALTERAÇÕES NOS TEORES E TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO DO
CARBONO DE FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS
CULTIVADOS COM EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de julho de 2009

Prof. Ivo Ribeiro da Silva
(Co-Orientador)

Prof. Naíram Félix de Barros
(Co-Orientador)

Prof. Júlio César Lima Neves

Pesq. Fernando Palha Leite

Prof. Roberto Ferreira de Novais
(Orientador)

À minha mãe, pelo exemplo de vida e que sempre acreditou e me deu exemplos de que os sonhos e projetos não devem ser apenas sonhados e sim vividos a partir do nosso próprio esforço.

Com amor dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo presente da vida e pelas pessoas que foram colocadas em meu caminho.

Aos meus pais Waldemiro e Madalena, pelo amor, carinho e apoio oferecidos.

Aos meus irmãos Ademilson e Alesandra, e à minha irmã de coração Marcela que sempre acreditaram em mim e que estiveram presentes sempre.

Ao Fabrício pelo sorriso e toque especial de alegria de cada dia.

À minha pequena e querida sobrinha que está a caminho, pela alegria que ela tem nos proporcionado.

Aos meus amigos que souberam compartilhar as alegrias e as dificuldades que a vida acadêmica traz.

Àqueles amigos que mesmo distante se fizeram presentes.

Pelos erros e acertos que me fizeram crescer.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos pelas oportunidades que recebi.

À CAPES e ao programa NUTREE pela bolsa de estudos concedida e pelo apoio financeiro para pesquisa.

Ao professor Roberto Ferreira de Novais pela orientação exemplar e constante, e exemplo profissional.

Ao professor Ivo Ribeiro da Silva pela orientação, colaboração e sugestões para o desenvolvimento da dissertação e incentivo desde o período de graduação.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Isótopos Estáveis e de Solos Florestais: João Milagres, Marilise, Carol, Diogo, Ivan, Robert, Lucas, Gelton, Felipe, Vitor, Laísa, Dener, Daniel, Itamar, Beto, Sr. Cardoso, com quem pude aprender muito.

À Carol pela nossa amizade.

À Marilise que contribuiu muito para a realização das análises feitas.

Enfim, a todas as pessoas que acreditaram em mim.

Muito Obrigada!!!

BIOGRAFIA

Fernanda Schulthais, filha de Waldemiro Francisco Schulthais e Madalena Peroni Schulthais, nasceu em 27 de Dezembro de 1984 no Município de Colatina, Espírito Santo.

Em 2002, concluiu o ensino médio no Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, Unidade de Ensino Descentralizada de Colatina.

Em 2003, iniciou o curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, sendo o mesmo concluído em Julho de 2007.

Em Agosto de 2007, ingressou no Programa de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa em Julho de 2009.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO	1
MATERIAL E MÉTODOS	4
Descrição da área de estudo, coleta e preparo das amostras	4
Fracionamento físico da MOS	8
Abundância natural de ^{13}C	8
Estatística	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
Teores de C orgânico (CO) no solo	10
Contribuição do carbono da matéria orgânica partícula (MOP) e da matéria orgânica associada aos minerais (MAM) para o carbono do solo	13
Abundância natural de ^{13}C	17
CONCLUSÕES	22
LITERATURA CITADA	23

RESUMO

SCHULTHAIS, Fernanda, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2009.

Alterações nos teores e taxas de substituição do carbono de frações da matéria orgânica em solos cultivados com eucalipto. Orientador: Roberto Ferreira Novais. Co-Orientadores: Ivo Ribeiro da Silva e Nairam Félix de Barros.

A literatura apresenta muita controvérsia no que se refere ao aumento e, ou, diminuição dos estoques de C orgânico no solo ou de suas frações devido à implantação de espécies florestais. Nesse contexto, os métodos físicos de separação da matéria orgânica do solo (MOS), aliados à técnica de composição isotópica do C permitem o entendimento da alteração que o C sofre no solo e nos diferentes compartimentos da MOS, tais como a avaliação e quantificação das possíveis entradas de C por meio da cultura implantada e, também, das perdas que o novo cultivo causa ao C do solo oriundo da cultura anterior. Tudo isso é facilitado quando ocorre a substituição de vegetação C₃ por C₄ ou o contrário, visto que o metabolismo dessas plantas apresenta discriminação diferenciada do ¹³C, diferença que também ocorre no solo quando esses resíduos são nele aportados. Assim, o objetivo desse trabalho foi determinar as mudanças do C nas frações da MO em solos cultivados com eucalipto. Foram coletadas amostras em solos com eucalipto, pastagem e mata nativa nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm em quatro repetições. Os usos selecionados foram: mata nativa (MN), eucalipto na 5ª rotação (Euc. 5R), eucalipto na 1ª rotação aos cinco anos (Euc. 1R5A) e pastagem adjacente (Past. 1R5A) e também eucalipto na 1ª rotação aos dois anos (Euc. 1R2A) e pastagem adjacente (Past. 1R2A). As amostras coletadas foram submetidas a um fracionamento físico, dando origem a duas frações distintas: matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MAM). Essas frações tiveram o C e a abundância natural de ¹³C analisados em espectrômetro de massas de razão isotópica de fluxo contínuo. Os dados foram analisados considerando-se um delineamento de amostragem, e, à partir das quatro repetições, foram obtidas as médias e os respectivos erros-padrão, para cada camada dos solos nos diferentes usos. Os teores de C foram, de modo geral, maiores nos solos sob a mata nativa, embora em algumas comparações esses valores tenham sido próximos daqueles sob o eucalipto e pastagem. Os teores de C do solo do Euc. 5R (Eucalipto na 5ª rotação) e Euc. 1R5A (Eucalipto 1ª rotação aos cinco anos de idade) foram menores que

aqueles sob a MN (Mata nativa), enquanto para o solo sob o Euc. 1R2A (Eucalipto 1ª rotação aos dois anos de idade), esses teores foram semelhantes ou maiores para as primeiras camadas amostradas. Dentre os usos do solo amostrados, a MN e o Euc. 5R apresentaram os maiores teores de C na MOP. Os solos com o Euc. 1R5A, Euc. 1R2A e Past. 1R5A foram aqueles que apresentaram os maiores decréscimos dos teores de C nessa fração quando comparados à MN. A alteração do uso do solo acarretou aumentos expressivos nos teores de C da MAM em relação à MN, principalmente nas áreas sob o Euc. 1R5A, Euc. 1R2A, Past. 1R5A e Past. 1R2A. A abundância natural do ^{13}C possibilitou o cálculo da taxa de ciclagem de ciclagem das frações MOP e MAM que foram de, aproximadamente, 8,33 e 0,5 % ao ano, respectivamente, indicando a maior sensibilidade da MOP às alterações de uso do solo.

ABSTRACT

SCHULTHAIS, Fernanda, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2009.
Alteration in contents and rates of Carbon substitution of organic matter fractions in eucalyptus soil. Adviser: Roberto Ferreira Novais. Co-advisers: Ivo Ribeiro da Silva and Nairam Félix de Barros.

The literature presents a great deal of controversy regarding increase and/or reduction of organic C supply in soil or of its fractions as a result of implantation of forest species. In this context, the physical methods for separation of soil organic matter (SOM), associated with the isotopic composition of C, allow the understanding of C alteration in soil and also in the different compartments of SOM, such as evaluation and quantification of possible entries of C through implanted culture and, in addition, the losses that the new cultivation brings about C derived from the former culture. This is facilitated when there is a vegetation substitution of C₃ for C₄, or the contrary, seeing that these plant metabolism presents differences of ¹³C, which in turn, affects the soil when this residue is left on the soil. Thus, the purpose of this work was to determine the C changes in fractions of organic matters in soils cultivated with eucalyptus. Samples of eucalyptus, pasture and native forest layers of 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, in four repetitions, were collected. The selected uses were: native forest (NF), fifth rotation eucalyptus (Euc. 5R) eucalyptus in the first rotation at the age of five, (Euc. 1R5A) and adjacent pasture (Past. 1R5A) and also first rotation eucalyptus at the age of two (Euc. 1R2A) and adjacent pasture (Past. 1R2A) The collected samples were submitted to physical fractionation divided into two distinct fractions: particulate organic matter (POM) and mineral-associated organic matter (MAM). These fractions had their C and natural abundance of ¹³C analyzed by using a mass spectrometer (Continuous Flow Isotope Ratio MS). The data were analyzed considering a sampling design, and from these four repetitions, the average and respective standard errors were obtained for each of the soil layers and their different use. The contents were, in a general way, higher in NF, although, in some comparisons, these values were close to the ones under eucalyptus and pasture. The C contents of Euc. 5R and Euc. 1R5A were not as high as the ones under NF, while in the soil under Euc. 1R2A, these contents were similar or higher for the first collected layers. Among the uses of collected soil, NF and Euc. 5R presented the highest values of C for POM. The soils with Euc. 1R5A,

Euc. 1R2A and Past. 1R5A presented the highest decrease, of C content in this fraction when compared to NF. The alteration of soil use resulted in expressive increase in C content of MAM in relation to NF, especially in areas under Euc. 1R5A, Euc. 1R2A, Past. 1R5A e Past. 1R2A. The natural abundance of ^{13}C allowed the cycling rate measurement of POM and MAM fraction cyclings which were nearly, 8,33 e 0,5 % per year, respectively, indicating a greater sensibility of POM to the alterations in the soil use.

INTRODUÇÃO

A conciliação dos interesses conservacionistas com o uso dos solos florestais tem levado ao estudo e aprimoramento de técnicas de manejo que promovam a conservação dos solos (Bayer et al., 2006). Neste contexto, a matéria orgânica do solo (MOS) é um componente chave para o estudo da dinâmica do C no solo (Lal, 2004), por atuar como fonte ou dreno do CO₂ atmosférico, de acordo com o uso e, ou, manejo ao qual o solo é submetido (Diekow et al., 2005).

A MOS é constituída de compartimentos que se diferenciam pela composição bioquímica, estabilidade e meia-vida (Stevenson, 1994). Sua entrada no solo está relacionada, principalmente, com o aporte de resíduos da parte aérea e das raízes das plantas, liberação de exsudatos radiculares, lavagem de constituintes solúveis da planta pela água da chuva e transformação desses materiais pelos macro e microrganismos do solo (Silva & Mendonça, 2007).

A literatura apresenta controvérsias no que se refere ao aumento e, ou, diminuição dos estoques de C orgânico no solo ou das suas frações devido à implantação florestal. Estudos mostram que essas alterações dependem de características do solo e do manejo ao qual este é submetido, das espécies ou clones e das características edafoclimáticas da região.

Smith (2004) mostrou que a adoção de práticas de manejo inadequadas pode levar a taxas de liberação de C muito maiores do que aquelas de incorporação deste ao solo. Zinn et al. (2002) detectaram decréscimo nos estoques de C em plantios de pinus e de eucalipto em áreas de solos arenosos, todavia, não encontraram alteração nos estoques de C em plantios de eucalipto em áreas de solos argilosos. Nas áreas estudadas por esses autores, o eucalipto e o pinus estavam aos 7 e 20 de cultivo, respectivamente. A conversão de resíduos em MOS, nesses casos, pode não ser muito eficiente e, ou, os processos que favorecem sua degradação podem ser acelerados, ao contrário do que ocorre em áreas de pastagens bem manejadas, onde há aumento nos teores de MOS (Koutika et al., 1999; Cerri et al., 2003).

Estudos têm mostrado a obtenção de diferentes frações de C no solo por meio da utilização de métodos de fracionamento físico, baseados na separação por tamanho de partículas e posteriores análises químicas destas frações (Solomon et al., 2000). O uso desses métodos vem se intensificando e é justificado pela minimização de alterações químicas que ocorrem no material orgânico, quando a separação física

é utilizada em detrimento à separação química. Associada a essa separação física, as análises de composição isotópica do C, ou seja, os deltas de ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$), têm possibilitado o avanço em estudos ligados à dinâmica da MOS e de suas frações, à sua ciclagem e ao entendimento das consequências da substituição da vegetação natural por outra espécie vegetal (Shang & Tiessen, 2000). Esse fato ocorre porque plantas com metabolismo C_3 e C_4 apresentam discriminação diferenciada do ^{13}C (Taiz & Zaiger, 2004), diferença que também ocorre no solo quando esses resíduos são aportados (Balesdent & Mariotti, 1993). As plantas com metabolismo C_4 apresentam $\delta^{13}\text{C}$ menos negativos (-9 à -17 ‰) por discriminarem menos este elemento, enquanto para as plantas com metabolismo C_3 , esses valores são mais negativos (-20 à -34 ‰), dada a maior discriminação nestas espécies (Smith & Epstein, 1971). Esses valores de $\delta^{13}\text{C}$ são dados em relação ao padrão PDB (Bernoux et al. (1998).

Uma fração da MOS que vem sendo bastante estudada é a matéria orgânica particulada (MOP), um compartimento da MOS preferencialmente mineralizado quando o solo passa a ser cultivado intensivamente (Hussain et al., 1999; Chan, 2001; Solomon et al., 2002), compondo assim um indicador mais sensível de alterações causadas pelo uso e práticas de manejo do solo, quando comparado a alterações no COT. Besnard et al. (1996) mostraram que após 7 e 35 anos de cultivo do milho, o solo apresentou decréscimo na MOP de 11 e 68 %, respectivamente, sendo que estas perdas foram maiores na MOP-livre, ou seja, naquela MOP que não ocorre nos agregados estáveis do solo. Foi possível perceber também que, com o cultivo do milho, o $\delta^{13}\text{C}$ da MOP aumentou, e este aumento se deu de forma diferenciada nas diferentes frações da MOP, indicando a incorporação dos resíduos do milho à MOS.

A substituição da floresta natural pelo cultivo sucessivo de milho na Etiópia levou à diminuição de 55 e 63 % do COT em áreas cultivadas por 25 e 30 anos, respectivamente (Solomon et al., 2002). A maior parte destas perdas ocorreu na MOP, mostrando que o C associado a esta fração é um componente muito lábil da MOS. Resultados semelhantes foram encontrados por Koutika et al. (1999), que ao avaliarem a substituição da floresta natural por pastagens encontraram maior perda do C ligado à fração areia.

Decorridos 12 e 20 anos da substituição do Cerrado por pastagem ou pinus, respectivamente, Wilcke & Lilienfein (2004) observaram que aproximadamente 30

% da MOS era derivada da cultura introduzida, o que indica que a substituição do C nas áreas de pastagens tem ocorrido de maneira mais rápida que nos solos sob pinus. As alterações no $\delta^{13}\text{C}$ mostraram, no solo sob pinus, maior aporte de C na camada de 1,2 a 2,0 m de profundidade, consequência provável da maior presença do sistema radicular das árvores de pinus em profundidade.

Em estudos conduzidos no Hawai, Binkley et al. (2004) mostraram que após oito anos da substituição de cana-de-açúcar por eucalipto não ocorreram alterações nos estoques de C no solo. Todavia, esses autores mostraram, com base na abundância natural do ^{13}C , aumentos significativos de C-C₃ (derivado da cultura do eucalipto) sob uma taxa de 0,136 kg m⁻² ano⁻¹ e, perdas de C-C₄ (derivado da cana-de-açúcar). Esses resultados estão de acordo com os de Lima et al. (2006) que mostraram que na região de Belo Oriente – MG (caracterizada pela baixa altitude, elevada temperatura, baixa produtividade florestal e solo argiloso), após 34 anos da substituição da pastagem pelo eucalipto, menos de 10 % do C do solo era derivado da pastagem.

Em contrapartida, Bayer et al. (2004) mostraram que o acúmulo de C em solos sob SPD ocorre preferencialmente na MOP. Todavia, em períodos curtos de tempo, esse sistema de cultivo não tem efeito no estoques de C na MOS associada aos minerais (silte e argila) em Latossolos argilosos oxídicos, dada a ciclagem mais lenta desta fração. Estes resultados corroboram com aqueles encontrados por Solomon et al. (2002), que evidenciaram a importância dos argilominerais na estabilização da MOS em solos tropicais. Six et al. (1999) também mostraram que cerca de 50 % do C dos macroagregados encontram-se associados aos minerais do solo.

Assim, o objetivo desse trabalho foi determinar as mudanças nos teores e a taxa de ciclagem do C nas frações da matéria orgânica de solos cultivados com eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo, coleta e preparo das amostras

O estudo foi conduzido em plantações comerciais de eucalipto localizadas na região litorânea, no município de Sooretama, ao norte do Espírito Santo. As coordenadas geográficas da região são: latitude de 19° 06' Sul e longitude de 39° 45' Oeste, com pluviosidade média de 1100 mm ano⁻¹. O clima, pela classificação de Köppen, é Aw, tropical quente e úmido, com temperaturas médias anuais de 23,3 °C. A altitude média é de 50 m, e a cobertura vegetal é a Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) sobre um Argissolo Amarelo.

Nessa região, eucalipto e pastagem foram plantados entre 1969 e 1970 após a retirada da mata nativa e queima dos resíduos na área. Parte dessas pastagens, geralmente utilizadas na pecuária extensiva, tem sido substituída pelo cultivo do eucalipto. Portanto, áreas com eucalipto contam com áreas adjacentes de pastagem e mata nativa.

Para a avaliação da progressiva alteração dos teores de CO e da abundância natural do ¹³C, foram selecionados talhões de eucalipto com aproximadamente 10 ha que haviam sido implantados há dois e cinco anos em áreas de pastagem para amostragem do solo. Ao lado desses povoamentos de eucalipto foram coletadas amostras em áreas de pastagem remanescentes. Para efeito de comparação, também foram coletadas amostras de solo em uma mata nativa adjacente. Essa mata é praticamente a única na região e cobre uma área de mais de 10000 ha (Quadro 1). Foram coletadas quatro amostras compostas (de cinco sub-amostras), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade. As amostras de solo foram secadas ao ar, passadas em peneira com malha de 2 mm, e subamostras foram retiradas para a caracterização física (Quadro 2) e química (Quadro 3).

Quadro 1. Uso atual e histórico dos solos utilizados no estudo

Uso atual	Símbolo (identificação)	Histórico de uso
Mata nativa	MN	Remanescente da mata nativa do tipo Floresta Ombrófila Densa, sem qualquer intervenção humana
Eucalipto 1ª rotação aos dois anos de idade	Euc. 1R2A	Área onde a pastagem foi introduzida entre os anos de 1969 e 1970 após a derrubada da mata nativa e queima de resíduos na área e que no ano de 2005 foi introduzido o eucalipto que no período da coleta estava com 2 anos de idade
Pastagem adjacente ao Euc.1R2A	Past. 1R2A	Pastagem adjacente ao eucalipto 1ª rotação aos 2 anos de idade
Eucalipto 1ª rotação aos cinco anos de idade	Euc. 1R5A	Área onde a pastagem foi introduzida entre os anos de 1969 e 1970 após a derrubada da mata nativa e queima de resíduos na área e no ano de 2002 foi introduzido o eucalipto que no período de coleta estava com 5 anos de idade
Pastagem adjacente ao Euc.1R5A	Past. 1R5A	Pastagem adjacente ao eucalipto 1ª rotação aos 5 anos de idade
Eucalipto na 5ª rotação	Euc. 5R	Área onde o eucalipto foi introduzido entre os anos de 1969 e 1970. Anteriormente ocupada por mata nativa que foi derrubada e queimados os resíduos na área para a implantação do eucalipto

Quadro 2. Caracterização física das amostras de solo utilizadas no estudo

Uso do solo	Profundidade (cm)	Teor de areia	Teor de silte + argila
	cm.....	g kg ⁻¹	
MN	0-10	917,5 (11,5)	82,5 (11,5)
	10-20	917,5 (7,5)	82,5 (7,5)
	20-40	855,0 (10,4)	145,0 (10,4)
	40-60	785,0 (11,9)	215,0 (11,9)
	60-80	745,0 (19,4)	255,0 (19,4)
	80-100	707,5 (27,2)	292,5 (27,2)
Euc. 1R2A	0-10	840,0 (28,6)	160,0 (28,6)
	10-20	843,3 (33,0)	156,7 (33,0)
	20-40	826,7 (44,0)	173,3 (44,0)
	40-60	793,3 (69,4)	169,2 (69,4)
	60-80	763,3 (85,7)	195,8 (85,7)
	80-100	703,3 (61,9)	289,2 (61,9)
Past. 1R2A	0-10	886,7 (17,0)	113,3 (17,0)
	10-20	890,0 (29,4)	110,0 (29,4)
	20-40	873,3 (47,3)	126,7 (47,3)
	40-60	813,3 (80,2)	186,7 (80,2)
	60-80	790,0 (81,5)	210,0 (81,5)
	80-100	773,3 (79,2)	226,7 (79,2)
Euc. 1R5A	0-10	805,0 (9,6)	195,0 (9,6)
	10-20	777,5 (2,5)	222,5 (2,5)
	20-40	685,0 (15,0)	315,0 (15,0)
	40-60	552,5 (8,5)	447,5 (8,5)
	60-80	457,5 (8,5)	542,5 (8,5)
	80-100	440,0 (9,1)	560,0 (9,1)
Past. 1R5A	0-10	732,5 (29,5)	267,5 (29,5)
	10-20	727,5 (7,5)	272,5 (7,5)
	20-40	660,0 (16,8)	340,0 (16,8)
	40-60	545,0 (17,1)	455,0 (17,1)
	60-80	490,0 (17,8)	510,0 (17,8)
	80-100	492,5 (2,5)	507,5 (2,5)
Euc. 5R	0-10	830,0 (18,3)	170,0 (18,3)
	10-20	815,0 (19,4)	185,0 (19,4)
	20-40	752,5 (29,8)	247,5 (29,8)
	40-60	655,0 (37,7)	345,0 (37,7)
	60-80	615,0 (20,2)	385,0 (20,2)
	80-100	610,0 (28,9)	390,0 (28,9)

Valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=4). Mata nativa (MN), eucalipto 1ª rotação com dois anos de idade (Euc. 1R2A) e pastagem adjacente (Past. 1R2A), eucalipto 1ª rotação com cinco anos de idade (Euc. 1R5A) e pastagem adjacente (Past. 1R5A), e eucalipto 5ª rotação (Euc. 5R).

Quadro 3. Caracterização química das amostras de solo utilizadas no estudo

Uso do solo	Prof	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC efetiva	CTC total	P-rem
	...cm...		...mg dm ⁻³ ...				...cmol _c dm ⁻³ ...				mg L ⁻¹
MN	0-10	5,20	4,3	37,8	2,31	1,03	0,02	2,4	3,46	5,84	59,9
	10-20	5,13	2,9	23,0	1,41	0,87	0,05	2,9	2,39	5,22	58,2
	20-40	4,78	2,2	19,8	0,81	0,80	0,31	3,3	1,96	4,95	51,1
	40-60	4,71	1,5	13,8	0,57	0,77	0,40	3,6	1,77	4,92	46,9
	60-80	4,66	0,8	8,5	0,49	0,75	0,59	3,4	1,85	4,69	40,0
	80-100	4,70	0,9	5,3	0,39	0,74	0,61	3,5	1,76	4,67	35,6
Euc. 1R2A	0-10	4,85	22,4	31,0	2,17	1,35	0,21	6,8	3,81	10,40	52,7
	10-20	4,79	18,8	25,0	1,59	0,98	0,40	6,1	3,04	8,76	51,1
	20-40	4,77	5,5	15,0	0,87	0,80	0,26	4,0	1,96	5,73	49,4
	40-60	4,86	2,1	12,5	0,51	0,74	0,12	3,1	1,40	4,38	45,1
	60-80	4,89	1,1	11,0	0,43	0,72	0,17	2,8	1,34	3,92	41,2
	80-100	4,57	6,7	18,3	0,47	0,85	2,09	17,9	3,45	19,28	27,5
Past. 1R2A	0-10	5,02	30,0	82,3	3,24	1,72	0,09	5,6	5,27	10,81	58,6
	10-20	4,90	16,1	52,7	2,23	1,20	0,09	4,7	3,66	8,30	59,1
	20-40	4,79	10,0	32,0	1,29	0,88	0,12	3,6	2,38	5,82	55,1
	40-60	4,60	3,5	14,0	0,60	0,72	0,91	6,0	2,27	7,36	44,2
	60-80	4,68	1,9	15,3	0,44	0,71	0,75	6,9	1,94	8,12	38,3
	80-100	4,61	4,1	19,3	0,54	0,74	1,13	9,7	2,46	11,03	40,5
Euc. 1R5A	0-10	4,45	0,5	6,8	1,14	1,13	0,14	3,5	2,52	5,88	52,1
	10-20	4,79	3,4	45,3	1,23	1,01	0,19	2,7	2,50	4,98	53,2
	20-40	4,93	2,5	26,8	1,43	0,93	0,02	2,2	2,42	4,58	52,2
	40-60	5,03	1,5	18,5	1,51	0,90	0,05	1,9	2,51	4,37	44,6
	60-80	5,12	0,6	22,5	1,33	0,92	0,09	2,1	2,40	4,41	40,9
	80-100	5,04	0,7	27,5	0,99	0,90	0,21	2,9	2,15	4,84	39,8
Past. 1R5A	0-10	5,77	3,5	179,0	1,87	1,70	0,00	2,6	4,03	6,60	56,2
	10-20	5,50	1,8	116,0	1,39	1,11	0,00	2,5	2,79	5,29	53,4
	20-40	5,42	0,6	83,5	1,35	0,93	0,07	2,1	2,56	4,62	42,7
	40-60	5,30	0,5	41,5	1,30	0,89	0,10	2,1	2,39	4,39	40,1
	60-80	5,28	0,5	32,3	1,22	0,93	0,12	2,2	2,35	4,46	36,6
	80-100	5,15	0,4	26,8	1,04	0,92	0,17	2,0	2,19	3,97	36,2
Euc. 5R	0-10	5,38	2,7	20,3	1,21	0,82	0,12	4,8	2,20	6,88	52,7
	10-20	4,98	1,8	16,8	0,80	0,73	0,20	5,3	1,76	6,86	48,6
	20-40	4,70	1,3	13,8	0,53	0,69	0,48	5,3	1,73	6,53	43,5
	40-60	4,51	0,6	9,3	0,40	0,67	0,62	5,1	1,71	6,18	37,9
	60-80	4,51	0,5	11,5	0,45	0,67	0,62	5,3	1,77	6,40	35,8
	80-100	4,45	0,5	6,8	0,39	0,69	0,71	3,2	1,81	4,28	31,9

pH em H₂O – relação 1:2,5; P e K – Extrator Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺, e Al³⁺ - Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al – Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹; P-rem - concentração de P em solução de equilíbrio, em mg L⁻¹, após agitação de 60 mg L⁻¹ de P em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, na relação solo solução de 1:10, por uma hora, com amostras de solo. Mata nativa (MN), eucalipto 1ª rotação com dois anos de idade (Euc. 1R2A) e pastagem adjacente (Past. 1R2A), eucalipto 1ª rotação com cinco anos de idade (Euc. 1R5A) e pastagem adjacente (Past. 1R5A), e eucalipto 5ª rotação (Euc. 5R).

Fracionamento físico da MOS

O fracionamento físico da MOS foi realizado de acordo com Cambardella & Elliott (1992). Dez gramas de cada amostra de solo, passada em peneira com malha de 2 mm, foi dispersa em 30 mL de solução de hexametáfosfato de sódio 5 g L⁻¹ e agitada por 15 h em agitador horizontal a 120 rpm, com temperatura controlada em 20 °C. Após a agitação, as amostras foram passadas em peneira de 53 µm, originando duas frações: a MOP- matéria orgânica particulada que é a fração retida na peneira, e a MAM - matéria orgânica associada aos minerais das frações silte e argila. Estas duas frações (MOP e MAM) foram secas em estufa, passadas em peneira de 0,149 mm (100 mesh) e preparadas para posterior análise do teor de C e do $\delta^{13}\text{C}$.

Abundância natural de ^{13}C

Para a análise dos teores de C e da abundância natural do ^{13}C , as frações MOP e MAM previamente secas em estufa e passadas em peneira de 0,149 mm (100 mesh) tiveram o C e a relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ medidos por combustão da matéria orgânica num analisador elementar conectado a um espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo (ANCA-GLS, Sercom, Crewe, UK). A razão isotópica foi expressa em partes por 1000, em relação ao padrão de Pee Dee Belemnita (PDB), conforme Bernoux et al. (1998).

O cálculo da proporção do C do solo e das frações MOP e MAM derivado de plantas C₄ em cada camada foi calculado de acordo com Vitorello et al. (1989):

$$\% \text{ C-C}_4 = (\delta - \delta_{\text{mn}}) / (\delta_{\text{p}} - \delta_{\text{mn}})$$

em que δ é a abundância natural de ^{13}C na amostra do solo, δ_{mn} é a abundância natural no solo sob mata nativa e δ_{p} é a abundância natural de ^{13}C no material vegetal da pastagem. Assumiu-se que após 38 anos da retirada da mata nativa e implantação da pastagem, as alterações do C-C₃ derivado da mata nativa são muito pequenas, admitindo-se, portanto, que qualquer alteração na proporção do C-C₃ adveio da contribuição do eucalipto. A contribuição do eucalipto foi calculada de acordo com Binkley et al. (2004), adaptado por Lima et al. (2006):

$$\%C-C_{\text{euc}} = (100 - \%C-C_4 - \%C-C_{3 \text{ mn}})$$

em que $\%C-C_{\text{euc}}$, $\%C-C_4$ e $\%C-C_{3 \text{ mn}}$ são as proporções da MOS derivada do eucalipto, da pastagem e da vegetação natural, respectivamente.

As taxas de substituição do C foram calculadas de duas maneiras:

- 1) Considerou-se a média anual do incremento de $C-C_{\text{euc}}$ ocorrido da diferença entre o Euc. 1R5a e Euc. 1R2A nas frações MOP e MAM.
- 2) Considerou-se a média anual de $C-C_{\text{euc}}$ nos Euc. 1R2A e Euc. 1R5A, individualmente, tanto na MOP quanto na MAM.

Estatística

Os dados foram analisados considerando-se um delineamento de amostragem, e, à partir das quatro repetições, foram obtidas as médias e os erros-padrão da média para cada camada dos solos amostrados nos diferentes usos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores de C no solo

Os teores de COT total foram, de modo geral, maiores nos solos sob a mata nativa, embora em algumas comparações esses valores estivessem próximos daqueles dos solos com eucalipto e pastagem (Figura 1). A região na qual a área de estudo se encontra apresenta elevada produtividade de eucalipto, com médias de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, dadas as condições edafoclimáticas favoráveis (Neves, 2000). Essa elevada produtividade resulta numa grande deposição de resíduos sobre o solo durante o ciclo de cultivo e no corte da floresta (Balieiro et al., 2004; Pegoraro, 2007), que podem ser incorporados ao solo e fazer parte de compartimentos da MOS (Demolinari, 2008; Maquere et al., 2008). Todavia, mesmo que a deposição de resíduos ao longo de todo o ciclo de cultivo seja elevada, eles ficam na superfície, com restrito contato com o solo, o que dificulta sua decomposição pelos microrganismos (Gatto et al., 2003) e, conseqüentemente, a incorporação desses resíduos à MOS (Loya et al., 2004). Neste contexto, a permanência do sistema radicular na área após a colheita é fundamental para a formação e, ou, manutenção da MOS, seja pela contribuição desse componente da árvore como fonte de C para o solo, que na região de estudo corresponde entre 10 e 15 % (Neves, 2001; Pegoraro, 2007) de toda a massa da árvore e também dado o seu contato direto com o solo, o que facilita sua proteção física e coloidal (Batjes, 1998). Autores também apontam para a estabilização desse material devido à ocorrência de efeito *priming* negativo, ou seja, a decomposição das raízes que normalmente apresentam relação C:N elevada pode implicar menor atividade e quantidade da biomassa microbiana no solo, resultando no maior tempo de permanência e, ou, de estabilização desse material no solo (Kuznyakov et al., 2000; Kuznyakov & Bol, 2006). Numa média de várias culturas avaliadas, estima-se que o C derivado das raízes contribua 2,4 vezes mais para o C da MOS em comparação ao C derivado da parte aérea (Rasse et al., 2005).

Os teores de C do solo com Euc. 5R (Eucalipto na 5ª rotação) e Euc. 1R5A (Eucalipto na 1ª rotação aos 5 anos de idade) foram menores que aqueles com a MN (Mata nativa), enquanto para o solo com o Euc. 1R2A (Eucalipto na 1ª rotação aos 2 anos de idade), esses teores foram semelhantes ou maiores para as primeiras profundidades amostradas (Figura 1). Nas áreas onde o eucalipto foi implantado em

áreas previamente ocupadas com pastagem, logo após essa substituição, grande parte dos resíduos da pastagem encontrava-se na área, o que implicou os maiores teores de C no solo do Euc. 1R2A, quando comparado àquele do Euc. 1R5A. Com o decorrer do tempo do primeiro cultivo, esse C oriundo da pastagem foi mineralizado, e como o solo com eucalipto ainda não recebeu aporte significativo de resíduos, os teores de C tenderam a decrescer nos primeiros anos de cultivo do eucalipto.

Quando comparados à vegetação natural, os solos com pastagem apresentaram teores de C mais elevados nas camadas mais superficiais (Figura 1). Batjes. (1998) em seu trabalho de revisão mostrou que o sistema radicular de pastagens, quando bem manejadas, pode seqüestrar e redistribuir C ao longo do perfil do solo, onde este C é mais protegido e menos susceptível à decomposição. Na Amazônia brasileira, Cerri et al. (2003) observaram que decorridos 88 anos da implantação de pastagens após a remoção da floresta ocorreu incremento de 53 % nos estoques da MOS. Islam & Weil (2000) observaram aumentos nos estoques de C em áreas onde acácia (*Acacia auriculiformis*) ou pastagem foram introduzidas em áreas anteriormente ocupadas por cultivos anuais. Resultados semelhantes foram encontrados por Don et al. (2009), quando cultivos anuais foram substituídos por pastagem.

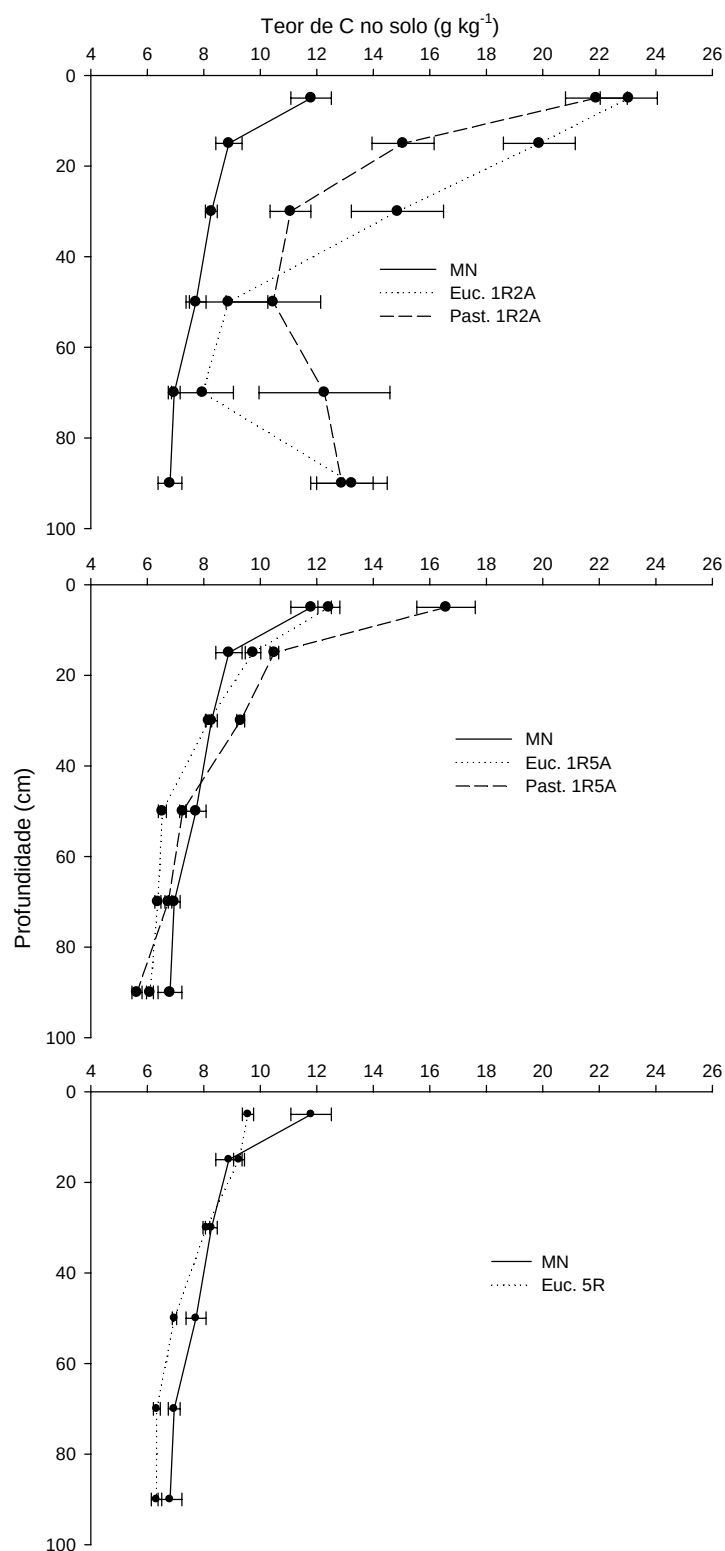


Figura 1. Teores de carbono em amostras de solo nas diferentes profundidades na mata nativa (MN), eucalipto 1^a rotação com dois anos de idade (Euc. 1R2A) e na sua pastagem adjacente (Past. 1R2A), eucalipto 1^a rotação com cinco anos de idade (Euc. 1R5A) e na sua pastagem adjacente (Past. 1R5A), e eucalipto 5^a rotação (Euc. 5R). As barras na horizontal referem-se ao erro padrão da média (n=4).

Contribuição do carbono da matéria orgânica partícula (MOP) e da matéria orgânica associada aos minerais (MAM) para o carbono do solo

A contribuição do C da MOP ($>53\ \mu\text{m}$) e da MAM ($<53\ \mu\text{m}$) para o C do solo, bem como a contribuição relativa dessas frações para o COT no solo são apresentados no quadro 4.

Dentre os usos dos solos amostrados, a MN e o Euc. 5R apresentaram os maiores teores de C na MOP, indicando que nessas áreas a MOP encontra-se, possivelmente, mais protegida, o que está de acordo com os resultados obtidos por Rangel & Silva (2007). Os solos do Euc. 1R5A, Euc. 1R2A e Past. 1R5A (pastagem adjacente ao Euc. 1R5A) foram aqueles que apresentaram os maiores decréscimos dos teores de C quando comparados à MN. As reduções foram de 42, 11 e 28 %; 51, 10 e 36 %; e 44, 10 e 13 % para as camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm para os solos com Euc.1R5A, Euc. 1R2A e Past. 1R5A, respectivamente. Isso indica a sensibilidade dessa fração às alterações de manejo e, ou, uso do solo (Koutika et al., 1999; Bayer et al., 2004; Rangel & Silva, 2007). O maior tempo de cultivo do Euc. 5R aliado à elevada produção de resíduos nessas áreas provavelmente causou os maiores teores de C na MOP. Estudos mostram que a deposição de resíduos (galhos e folhas), em áreas com eucalipto pode chegar a $6\ \text{t ha}^{-1}\ \text{ano}^{-1}$ (Pegoraro, 2007).

A MAM correspondeu, em média, a 68,6 % do C do solo, apresentando-se na seguinte ordem: Euc. 5R < MN < Past. 1R2A (pastagem adjacente ao Euc. 1R2A) < Past 1R5A < Euc. 1R2A < Euc. 1R 5A. Ao contrário da MOP, a alteração do uso do solo acarretou aumentos nos teores de C da MAM em relação à MN, principalmente nas áreas com o Euc. 1R5A, Euc. 1R2A, Past. 1R5A e Past. 1R2A. Tal fato pode estar ocorrendo devido à deposição de resíduos na área e também pelo aporte de C do sistema radicular dessas culturas ao solo, propiciando a estabilização do C nas partículas de silte e argila. Christensen & Sorensen (1985) mostraram que em solos incubados com resíduos marcados com ^{14}C (palhada, hemicelulose ou glucose), o aumento do C ocorreu preferencialmente na fração argila e silte. Resultados semelhantes foram encontrados por Gale & Cambardella (2000), que realizando um experimento em condições controladas, mostraram que decorrido um ano da adição do resíduo ao solo, 2 e 27 % do C oriundo do resíduo previamente adicionado, encontravam-se associado à fração areia e as frações silte + argila, respectivamente..

Nos solos estudados é possível perceber o acúmulo preferencial de C na MAM em relação à MOP (Figuras 2 e 3), em que cada unidade de silte + argila é mais eficiente em armazenar C em comparação à cada unidade de areia.

Quadro 4. Teores de carbono na matéria orgânica particulada (MOP), associada à fração areia e matéria orgânica associada aos minerais (MAM), associada às frações silte e argila e, contribuição relativa dessas frações para os teores de carbono nas amostras de solos coletadas

Uso	Profundidade	Teor de C na MOP	Teor de C na MAM	C na MOP	C na MAM
	cm	g kg ⁻¹ de solo.....		%.....	
MN	0-10	5,26 (0,43)	6,69 (1,03)	44,61 (2,05)	55,39 (2,05)
	10-20	3,93 (0,62)	5,06 (0,69)	43,77 (4,73)	56,23 (4,73)
	20-40	3,41 (0,37)	4,95 (0,13)	40,47 (2,50)	59,53 (2,50)
	40-60	3,15 (0,65)	4,65 (0,35)	39,40 (5,14)	60,60 (5,14)
	60-80	2,90 (0,18)	4,12 (0,39)	41,60 (2,89)	58,40 (2,89)
	80-100	3,06 (0,26)	3,81 (0,68)	45,46 (3,99)	54,54 (3,99)
Euc. 1R2A	0-10	4,67 (0,28)	18,57 (1,80)	20,32 (0,99)	79,68 (0,99)
	10-20	3,52 (0,26)	16,50 (2,44)	18,45 (2,58)	81,55 (2,58)
	20-40	3,07 (0,26)	11,89 (3,14)	23,00 (4,13)	77,00 (4,13)
	40-60	1,84 (0,08)	7,06 (2,76)	29,11 (10,01)	70,89 (10,01)
	60-80	2,25 (0,27)	5,74 (2,29)	38,04 (15,41)	61,96 (15,41)
	80-100	2,04 (0,16)	11,26 (2,36)	16,73 (2,59)	83,27 (2,59)
Past. 1R2A	0-10	6,94 (1,00)	15,22 (1,60)	31,28 (2,71)	68,72 (2,71)
	10-20	3,96 (1,04)	11,28 (1,70)	25,53 (4,43)	74,47 (4,43)
	20-40	2,81 (0,31)	8,41 (1,32)	25,58 (2,45)	74,42 (2,45)
	40-60	2,07 (0,18)	8,47 (3,23)	27,98 (10,80)	72,02 (10,80)
	60-80	2,39 (0,22)	9,93 (4,62)	32,56 (15,04)	67,44 (15,04)
	80-100	2,67 (0,39)	10,33 (1,92)	21,13 (2,19)	78,87 (2,19)
Euc. 1R5A	0-10	3,05 (0,47)	9,53 (0,50)	23,93 (2,62)	76,07 (2,62)
	10-20	1,94 (0,09)	7,90 (0,55)	19,85 (1,28)	80,15 (1,28)
	20-40	1,76 (0,17)	6,49 (0,13)	21,20 (1,68)	78,80 (1,68)
	40-60	1,49 (0,32)	5,09 (0,10)	22,15 (4,03)	77,85 (4,03)
	60-80	1,70 (0,27)	4,71 (0,16)	26,25 (3,51)	73,75 (3,51)
	80-100	1,80 (0,25)	4,35 (0,06)	28,88 (2,75)	71,12 (2,75)
Past. 1R5A	0-10	3,80 (0,43)	12,92 (1,70)	22,84 (1,28)	77,16 (1,28)
	10-20	2,50 (0,05)	8,10 (0,32)	23,64 (0,91)	76,36 (0,91)
	20-40	2,74 (0,12)	6,65 (0,22)	29,19 (0,98)	70,81 (0,98)
	40-60	1,94 (0,16)	5,37 (0,23)	26,56 (2,16)	73,44 (2,16)
	60-80	1,81 (0,07)	5,00 (0,21)	26,57 (1,01)	73,43 (1,01)
	80-100	1,43 (0,16)	4,27 (0,22)	24,89 (1,65)	75,11 (1,65)
Euc. 5R	0-10	3,99 (0,30)	5,68 (0,15)	41,26 (1,55)	58,74 (1,55)
	10-20	4,39 (0,46)	4,95 (0,40)	46,89 (4,02)	53,11 (4,02)
	20-40	3,82 (0,31)	4,36 (0,42)	46,89 (4,32)	53,11 (4,32)
	40-60	3,05 (0,20)	3,98 (0,11)	43,35 (2,07)	56,65 (2,07)
	60-80	2,73 (0,21)	3,68 (0,09)	42,42 (1,79)	57,58 (1,79)
	80-100	3,17 (0,38)	3,22 (0,04)	49,05 (3,25)	50,95 (3,25)

Valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=4). Mata nativa (MN), eucalipto 1ª rotação com dois anos de idade (Euc. 1R2A) e sua pastagem adjacente (Past. 1R2A), eucalipto 1ª rotação com cinco anos de idade (Euc. 1R5A) e sua pastagem adjacente (Past. 1R5A), e eucalipto 5ª rotação (Euc. 5R).

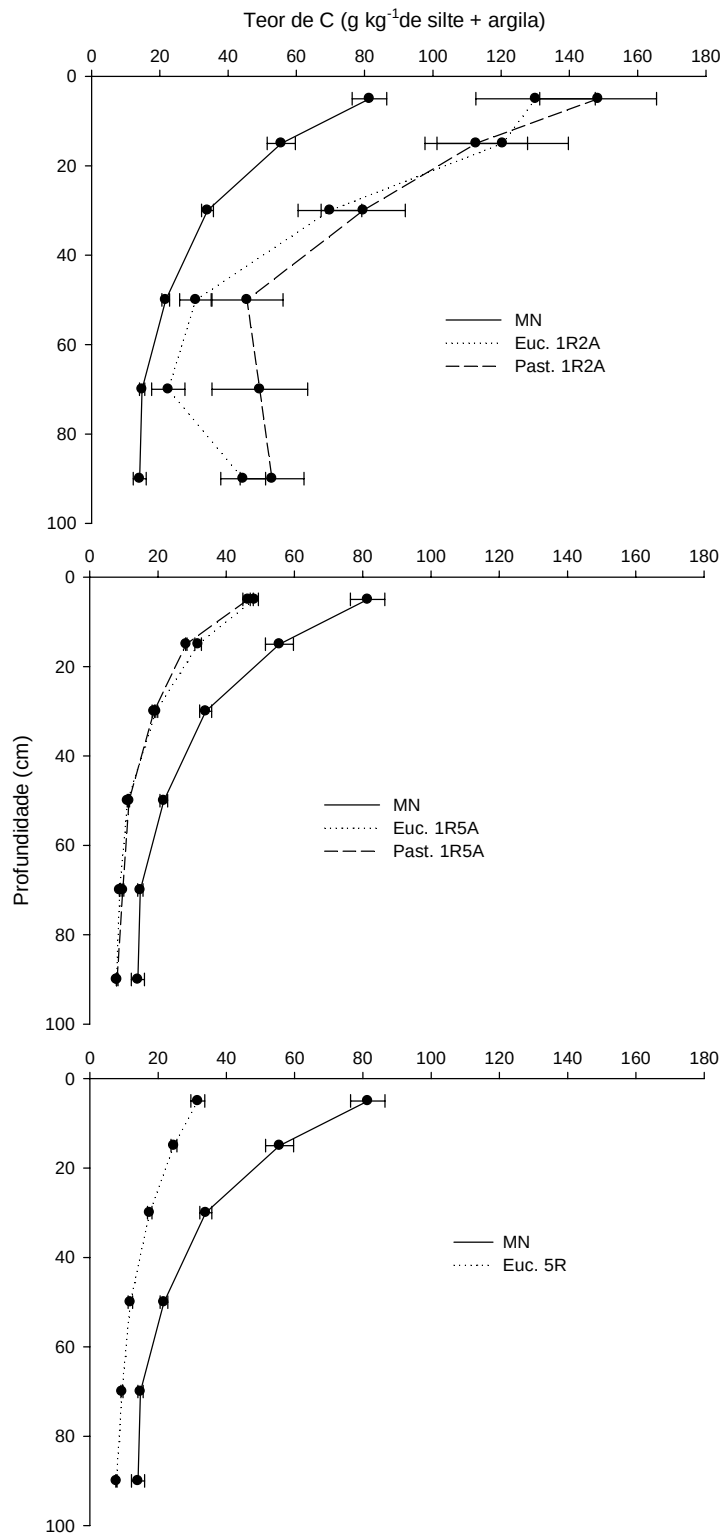


Figura 2. Teor de carbono na MAM de solos nas diferentes profundidades na mata nativa (MN), eucalipto 1ª rotação com dois anos de idade (Euc. 1R2A) e na sua pastagem adjacente (Past. 1R2A), eucalipto 1ª rotação com cinco anos de idade (Euc. 1R5A) e na sua pastagem adjacente (Past. 1R5A), e eucalipto 5ª rotação (Euc. 5R). As barras na horizontal referem-se ao erro padrão da média (n=4).

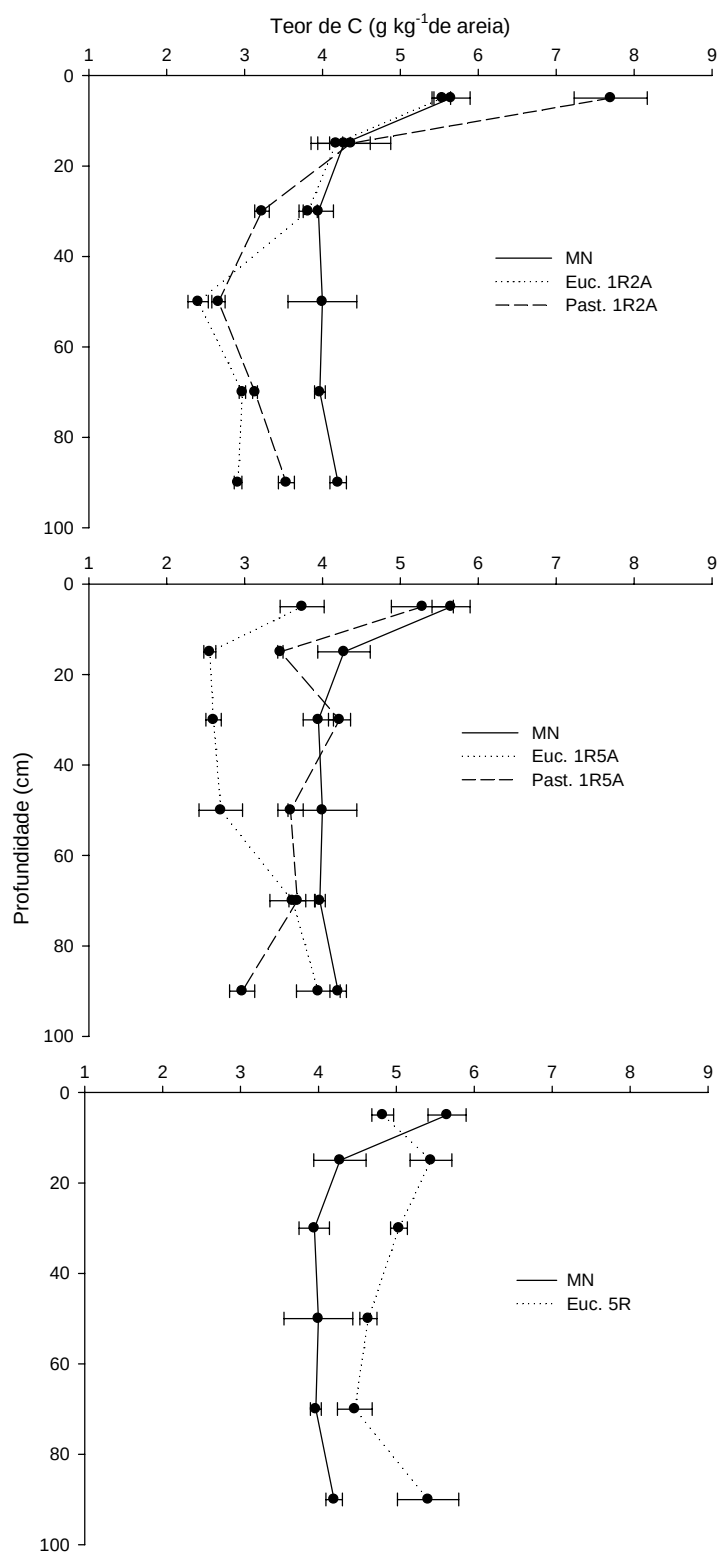


Figura 3. Teor de carbono na MOP de solos nas diferentes profundidades na mata nativa (MN), eucalipto 1ª rotação com dois anos de idade (Euc. 1R2A) e na sua pastagem adjacente (Past. 1R2A), eucalipto 1ª rotação com cinco anos de idade (Euc. 1R5A) e na sua pastagem adjacente (Past. 1R5A), e eucalipto 5ª rotação (Euc. 5R). As barras na horizontal referem-se ao erro padrão da média ($n=4$).

Abundância natural de ^{13}C

A abundância natural do ^{13}C apresentou uma característica bastante peculiar, tanto para a MOP quanto para a MAM: ocorrência de deltas menos negativos para os solos sob eucalipto quando comparados aos solos sob a mata nativa ou à pastagem (Figuras 4 e 5). Dados da literatura indicam que a diferença da composição isotópica do C é, de maneira geral, transferida para o solo quando resíduos são a ele aportados (Balesdent & Mariotti, 1993).

Quando a MN é comparada ao Euc. 5R, tanto para a MOP quanto para a MAM, os deltas de ^{13}C no solo com eucalipto são menos negativos que aqueles no solo com MN. Contudo, a literatura mostra que, em média, a composição isotópica do ^{13}C para os resíduos da Mata Atlântica está em torno de -27 ‰, enquanto para os resíduos do eucalipto, esses valores variam entre -30,5 à -31 ‰ (Balieiro et al., 2008). Sabendo-se que nesta área com eucalipto não houve implantação de pastagem após a retirada da MN, o que pode estar colaborando para o aumento dos deltas de ^{13}C ao longo dos ciclos de cultivo é a contribuição dos resíduos do sub-bosque que, neste caso, possivelmente conta com a existência de plantas com metabolismo C_4 .

Em trabalhos conduzidos em plantios comerciais de eucalipto com dez anos de idade e com espaçamento que permitia o desenvolvimento do sub-bosque, Melloni et al. (2008) mostraram que esse é bastante diversificado podendo ser considerado restabelecido ou em fase de restabelecimento, além de poder atingir um estágio de equilíbrio semelhante ao de áreas sob condições naturais. Outro fator que pode estar colaborando para a ocorrência de deltas menos negativos nos solos sob eucalipto refere-se ao fato de que à medida que o resíduo orgânico preexistente ou aportado no solo torna-se mais humificado, o $^{12}\text{CO}_2$ é perdido preferencialmente em relação ao $^{13}\text{CO}_2$ como observado por Trumbore et al. (1995).

Tanto para a MOP quanto para a MAM dos solos com o Euc. 1R5A e Euc. 1R2A, nota-se que, de modo geral, para as camadas mais superficiais (0-10 e 10-20 cm) os deltas do solo com eucalipto são mais negativos que do solo com pastagem, o que evidencia a entrada de carbono oriundo da cultura do eucalipto nessas camadas (Figuras 4 e 5). Para a MOP, a entrada do C oriundo do eucalipto é visível até a camada de 40-60 cm de profundidade. Essa entrada do C do eucalipto para a MOS nas primeiras camadas é confirmada quando se estima a contribuição do C originado do eucalipto (Binkley et al., 2004; Lima et al., 2006). A contribuição do C do Euc.

1R5A para o C do solo na camada de 0-10 cm foi de, aproximadamente, 31 e 14 % para a MOP e MAM, respectivamente, e para o Euc. 1R2A essa contribuição foi de 6 e 13 % (Quadro 5), o que resulta em uma taxa de substituição média de 8,33 % ao ano para a MOP e de 0,5 % ao ano para a MAM quando consideramos o incremento de C ocorrido nessas frações, dado o incremento de C-Ceuc ocorrido entre Euc 1R2A e o Euc 1R5A. Todavia, se consideramos cada área separadamente, temos que a substituição média foi de 6,2 e 2,8 % ao ano no Euc. 1R5A e de 3 e 6,5 % para o Euc. 1R2A, para as frações MOP e MAM respectivamente, o que indica a sensibilidade diferenciada dessas frações em relação às alterações de uso do solo.

Estudos conduzidos por Lima et al. (2006) em duas regiões com características climáticas diferenciadas, no Vale do Rio Doce, mostraram que após 34,2 e 33,2 anos da implantação de eucalipto em solos argilosos anteriormente ocupados com pastagem, as taxas de substituição do C-C₄ do solo foram de aproximadamente 1,32 e 0,30 % ao ano para as regiões de Belo Oriente e Virginópolis, respectivamente.

Contudo, quando se observam os deltas de ¹³C nas camadas mais profundas, verifica-se que estes se tornam menos negativos para os solos com eucalipto quando comparados àqueles com pastagem. Para explicar tal fato, poderiam ser levantadas duas hipóteses: a primeira baseada no fato de em um Argissolo com textura bastante arenosa na superfície, poderia estar acontecendo a eluviação de C, e a segunda, de o C oriundo da pastagem estar sendo protegido preferencialmente nesses solos, provavelmente devido à entrada de resíduo mais recalcitrante no solo oriundo da cultura do eucalipto. Como este aumento dos deltas de ¹³C em profundidade está acontecendo tanto na MAM quanto na MOP, a primeira hipótese seria menos relevante, visto que a descida de C ao longo do perfil do solo ocorre de maneira mais expressiva para as frações mais finas do solo. Tal fato é corroborado por Bortoluzzi et al. (2008) que mostraram que em áreas de Argissolo, a eluviação de partículas ocorre principalmente para aquelas com diâmetros entre 0,09 a 2 µm.

Assim, a ocorrência de efeito *priming* negativo pode estar favorecendo a permanência dos resíduos oriundos da pastagem, dada a entrada do material mais recalcitrante aportado pelas raízes de eucalipto, como cutina e suberina (Rasse et al., 2005) com elevados teores de lignina e polifenóis que atuam como agentes limitantes para a atividade e diversidade da população microbiana, resultando na permanência do material no solo (Kuzyakov et al., 2000; Kuzyakov & Bol, 2006).

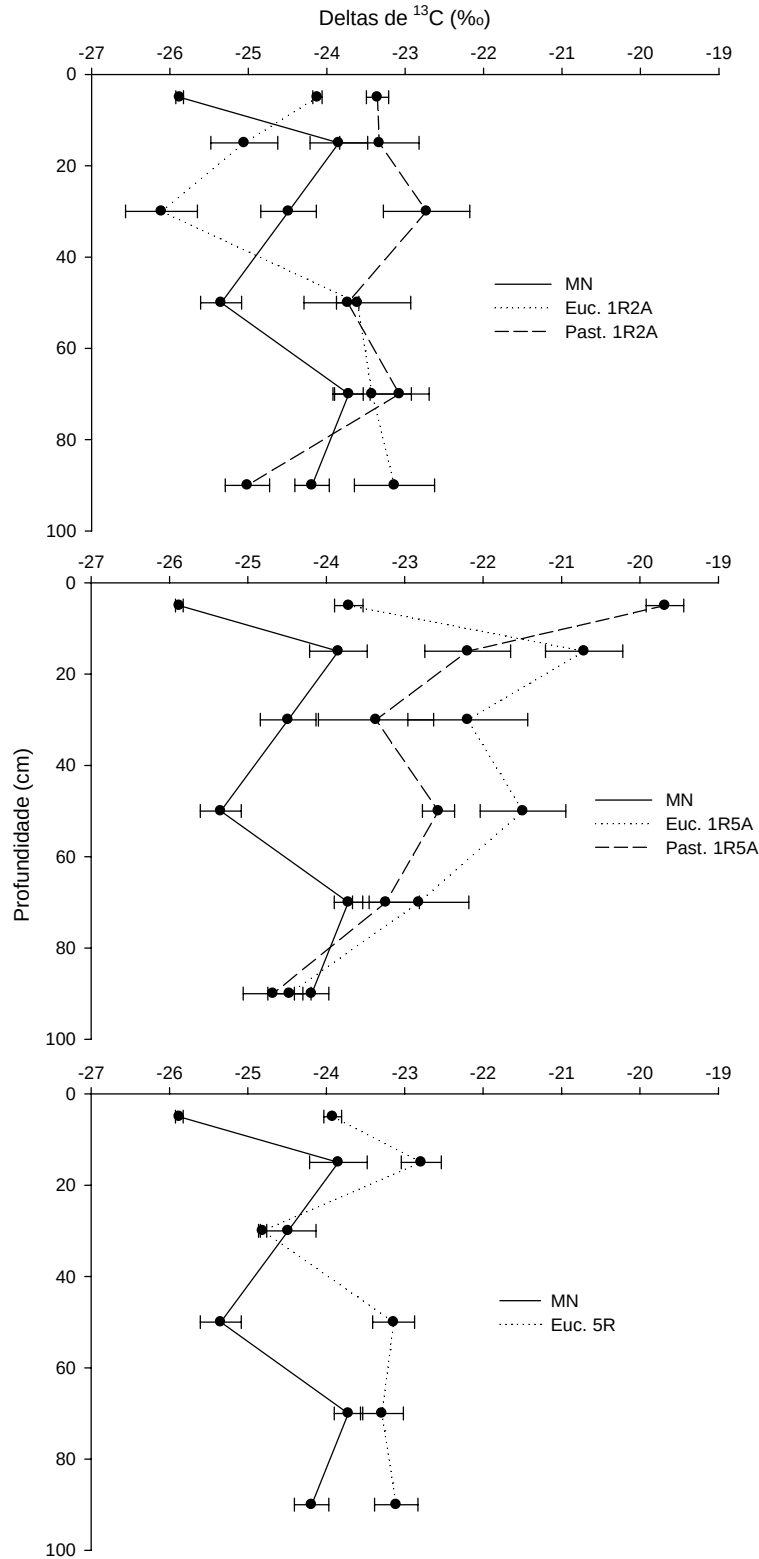


Figura 4. Distribuição da abundância natural do ^{13}C na MOP de solos nas diferentes profundidades na mata nativa (MN), eucalipto 1ª rotação com dois anos de idade (Euc. 1R2A) e na sua pastagem adjacente (Past. 1R2A), eucalipto 1ª rotação com cinco anos de idade (Euc. 1R5A) e na sua pastagem adjacente (Past. 1R5A), e eucalipto 5ª rotação (Euc. 5R). As barras na horizontal referem-se ao erro padrão da média (n=4).

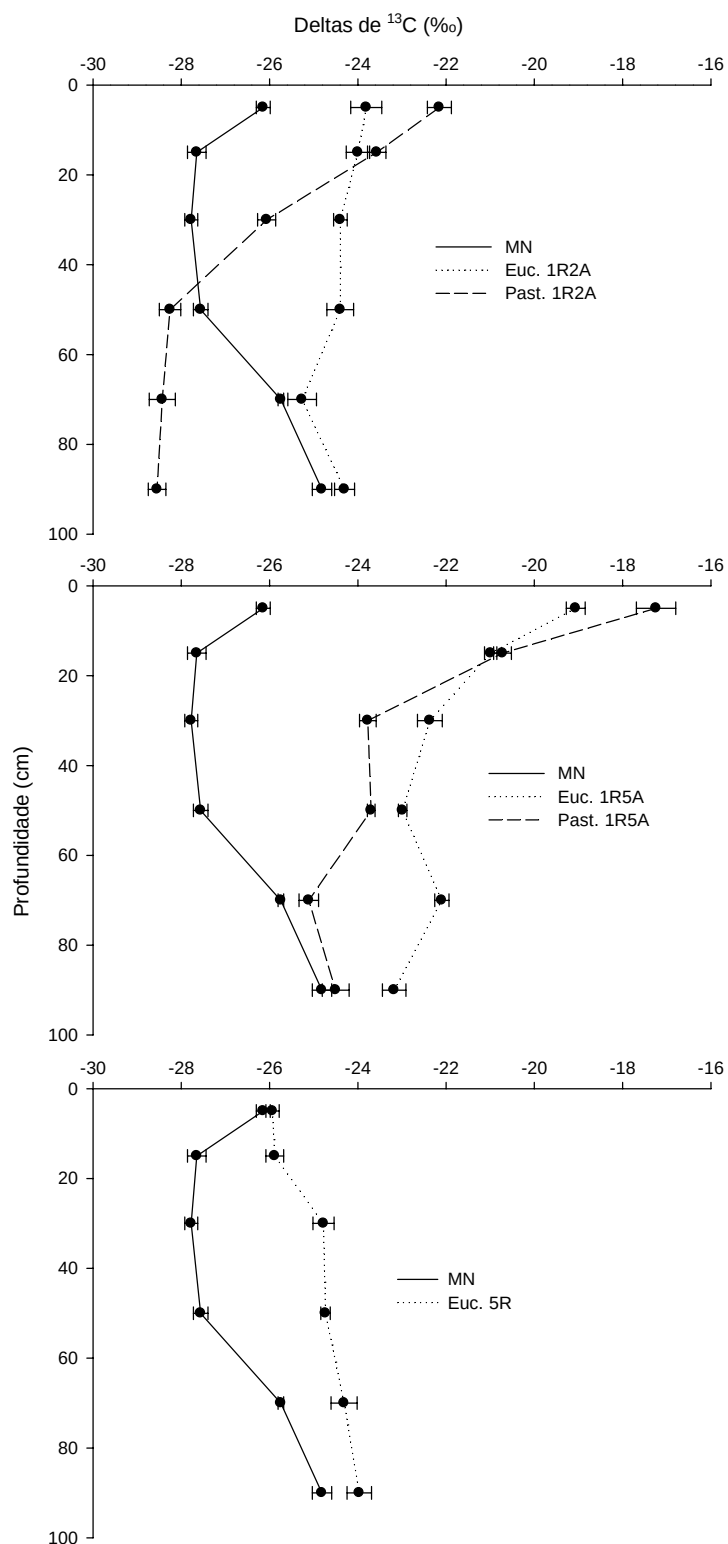


Figura 5. Distribuição da abundância natural do ^{13}C na MAM de solos nas diferentes profundidades na mata nativa (MN), eucalipto 1ª rotação com dois anos de idade (Euc. 1R2A) e na sua pastagem adjacente (Past. 1R2A), eucalipto 1ª rotação com cinco anos de idade (Euc. 1R5A) e na sua pastagem adjacente (Past. 1R5A), e eucalipto 5ª rotação (Euc. 5R). As barras na horizontal referem-se ao erro padrão da média (n=4).

Quadro 5. Contribuição do carbono derivado do eucalipto para a MOP (matéria orgânica particulada) e MAM (matéria orgânica associada aos minerais) na camada de 0-10 cm

Uso	Fração	Contribuição relativa de C derivado do eucalipto
		%
Euc. 1R2A	MOP	6
	MAM	13
Euc. 1R5A	MOP	31
	MAM	14
Eucalipto 1ª rotação com dois de idade (Euc. 1R2A) e eucalipto 1ª rotação com cinco anos de idade.		

CONCLUSÕES

1. Mesmo que o solo sob a mata nativa tenha apresentado, de modo geral, os maiores teores de C, o cultivo do eucalipto não ocasionou perdas acentuadas nos teores de C orgânico total (COT).
2. A matéria orgânica particulada (MOP) apresentou-se como um indicador mais sensível das alterações causadas pelo uso do solo, com taxa de ciclagem maior quando comparadas à MAM (matéria orgânica associada aos minerais).
3. Nas primeiras camadas do solo é possível observar, por meio dos deltas de ^{13}C , a maior contribuição dos resíduos do Euc. 1R5A (eucalipto 1ª rotação aos cinco anos), em comparação ao Euc. 1R2A (eucalipto 1ª rotação aos dois anos) para o C orgânico do solo nas frações MOP e MAM.

LITERATURA CITADA

- BALESDENT, J.; GIRARDIN, C. & MARIOTTI, A. Site-related $\delta^{13}\text{C}$ of trees leaves and soil organic matter in a temperate forest. *Ecology*, 74:1713-1721, 1993.
- BALIEIRO, F.C.; FRANCO, A.A.; PEREIRA, M.G.; CAMPELLO, E.F.C.; DIAS, L.E.; FARIA, S.M. & RODRIGUES, B.J.R. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:597-601, 2004.
- BALIEIRO, F.C.; OLIVEIRA, W.C.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; PICCOLO, M.C. & JACCOUD, C.F. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa topossequência em seropédica, RJ. *R. Árvore*, 32:153-162, 2008.
- BATJES, N. H. Mitigation of atmospheric CO_2 concentrations by increased carbon sequestration in the soil. *Biol. Fertil. Soils*, 27:230-235, 1998.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:677-683, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. & DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soil under no-till. *Soil Till. Res.*, 86:237-245, 2006.
- 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.
- BESNARD, E.; CHENU, C.; BALESDENT, J.; PUGET, P. & ARROUAYS, D. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *Europ. J. Soil Sci.*, 47:495-503, 1996.

- BINKLEY, D.; KAYE, J.; BARRY, M. & RYAN, M.G. First-rotation in soil carbon and nitrogen in a Eucalyptus plantation in Hawaii. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:1713-1719, 2004.
- BORTOLUZZI, E.C.; PERNES, M. & TESSIER, D. Mineralogia de partículas envolvidas na formação de gradiente textural em um Argissolo subtropical. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:997-1007, 2008.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate organic matter across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- CERRI, C.E.P.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R. & CERRI, C.C. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67:1879-1887, 2003.
- CHAN, K.Y. Soil particulate carbon under different land use and management. *Soil use and Management*, 17:217-221, 2001.
- CHRISTENSEN, B.T. & SORENSEN. The distribution of native and labelled carbon between soil particle size fractions isolated from long-term incubation experiments. *Eur. J. Soil. Sci.*, 36:219-229, 1985.
- DEMOLINARI, M.S.M. Transferência do carbono de resíduos da colheita de eucalipto para frações da matéria orgânica do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2008. 64p. (Dissertação de Mestrado)
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGEL-KNABNER. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil Till. Res.*, 81:87-95, 2005.
- DON, A.; SCHOLTEN, T. & SCHULZE, E. Conversion of cropland into grassland: implications for soil organic-carbon stocks in two soils with different texture. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 172:53-62, 2009.

- GALE, W.J. & CAMBARDELLA, C.A. Carbon dynamics of surface residue and root-derived organic matter under simulated no-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:190-195, 2000.
- GATTO, A.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; COSTA, L.M. & NEVES, J.C.L. Efeito do método de preparo do solo, em áreas de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. *R. Árvore*, 27:635-646, 2003.
- HUSSAIN, I; OLSON, K.R. & EBELHAR, S.A. Long-term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63: 1335-1341, 1999.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agric. Ecos. Environ.*, 79:9-16, 2000.
- KOUTIKA, L.S.; ANDREUX, F.; HASSINK, J.; CHONÉ, T. & CERRI, C.C. Characterization of organic matter in topsoils under rain forest and pasture in the Eastern Brazilian Amazon Basin. *Biol. Fertil. Soils*, 29:309-313, 1999.
- KUZYAKOV, Y. & BOL, R. Sources and mechanisms of priming effect induced in two grassland soils amended with slurry and sugar. *Soil Biol. Biochem.*, 38:747-758, 2006.
- KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J.K. & STAHR. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biol. Biochem.*, 32:1485-1498, 2000.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123: 1-22, 2004.
- 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.

- LOYA, M. W.; JOHNSON, L.C. & NADELHORFFER, K.J. Seasonal dynamics of leaf-and root-derived C in arctic tundra mesocosms. *Soil Biol. Biochem.*, 36:655-666, 2004.
- MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N. & VIEIRA, F.B.M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2461-2470, 2008.
- MAQUERE, V.; LACLAU, J.P.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRE, L.; GONÇALVES, J.L.M.; CERRI, C.C.; PICCOLO, M.C. & RANGER, J. Influence of land use (savana, pasture, eucalyptus plantations) on soil carbon and nitrogen stocks in Brazil. *Eur. J. S. Sci.*, 59:863-877, 2008.
- NEVES, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspetos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)
- PEGORARO, RODINEI FACCO. Seqüestro de carbono e alterações bioquímicas da matéria orgânica de solos cultivados com eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007. 140p. (Tese de Doutorado)
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1609-1623, 2007.
- RASSE, D.P.; RUMPEL, C. & DIGNAC, M.F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant and Soil*, 269:341-356, 2005.
- SHANG, C. & TIESSEN, H. Carbon turnover and carbon-13 natural abundance in organo-mineral fractions of a tropical dry forest soil under cultivation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:2149-2155, 2000.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; V.H., BARROS, N.F.; FONTES, R.LF.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do Solo, SBCS, Viçosa, 2007, 276-374p.

- SIX, J.; ELLIOTT, E. T. & PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1350-1358, 1999.
- SMITH, B.N. & EPSTEIN, S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiol.*, 47:380-384, 1971.
- SMITH, P. Carbon sequestration in croplands: The potential in Europe and the global context. *Eur. J. Agronomy*, 20: 229-236, 2004.
- SOLOMON, D.; FRITZSCHE, F.; LEHMANN, J.; TEKALIGN, M. & ZECH, W. Soil organic matter dynamics in the subhumid agroecosystems of the Ethiopian highlands: Evidence from natural ^{13}C abundance and particle-size fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:969-978, 2002.
- SOLOMON, D.; LEHMANN, J & ZECH, W. Land use effects on soil organic matter properties of chromic Luvisols in the semiarid tropics: Carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. *Agric. Eco. Environ.*, 78:203-213, 2000.
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. 2.ed. New York, Willey & Sons Inc., 1994. 496p.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre, Artmed, 2004. 719p.
- TRUMBORE, S.E.; DAVIDSON, E.A.; CAMARGO, P.B.; NEPSTAD, D.; MARTINELLI, L.A. Belowground cycling of carbon in forest and pastures of Eastern Amazonia. *Glob. Biogeochem. Cycle*, 9:515-528, 1995.
- VITORELLO, V.A.; CERRI, C.; ANDREUX, F; FELLER, C. & VICTÓRIA, R.L. Organic matter and natural ^{13}C distribution in forest and cultivated Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:773-778, 1989.
- WILCKE, W & LILIENFEIN, J. Soil carbon-13 natural abundance under native and managed vegetation in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:827-832, 2004.
- 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. *For. Ecol. Manag.*, 166: 285-294, 2002.