

Estabilização do ^{13}C do resíduo de eucalipto em solos distintos: contribuição do déficit de saturação de carbono ⁽¹⁾.

Luís Fernando Januário Almeida⁽²⁾ Thaís Silva Sales⁽³⁾ Ivo Ribeiro da Silva⁽⁴⁾
Guilherme Luiz de Jesus⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)

⁽²⁾ Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/CNPq, Departamento de Solos, Laboratório de Isótopos Estáveis, Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, MG, luis.almeida@ufv.br; ⁽³⁾ Mestranda em Fitotecnia; Universidade Federal de Lavras ⁽⁴⁾ Professor, Departamento de Solos; Universidade Federal de Viçosa; ⁽⁵⁾ Especialista em solos; Celulose Nipo Brasileira S/A

RESUMO: A Matéria Orgânica está diretamente relacionada com a qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas de produção em longo prazo. Nos sítios florestais a quantidade e a qualidade do resíduo que permanece na área influenciarão a entrada de C, sua taxa de decomposição e transferência para as frações da MOS. Evidências na literatura sugerem que há um nível de saturação de C baseado nos processos físico-químicos que protegem ou estabilizam os compostos orgânicos do solo. O objetivo do presente estudo foi avaliar a contribuição do Déficit de Saturação de Carbono na estabilização do resíduo de colheita de eucalipto marcado com ^{13}C aplicado em cinco solos de textura muito argilosa provenientes de mata nativa. Os tratamentos resultaram de um esquema fatorial $5 \times 5 \times 6$, sendo cinco solos; cinco profundidades e cinco resíduos de eucalipto mais um testemunha sem resíduo. A eficiência de conversão do resíduo em MOS é maior em solos com maior DSC.

Termos de indexação: Matéria Orgânica, sustentabilidade florestal, colheita

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fontes de energia menos dependentes de fontes não renováveis tem fomentado a busca por alternativas de energia. Nesse sentido, a agricultura é uma fonte de energia renovável por meio da produção de biomassa que pode ser usado como biocombustível (Lal, 2008), havendo uma demanda crescente pela remoção de resíduos de colheita de eucalipto para a produção de energia. No entanto, a remoção contínua de resíduos de plantas pode comprometer a qualidade do solo por promover decréscimos nos teores de matéria orgânica, uma vez que a mesma está bastante relacionada com a sustentabilidade de produção do sistema em longo prazo (Nambiar, 1996; Mendham et al., 2004). Assim, a quantidade e a qualidade do resíduo florestal que permanece na área influenciarão a dinâmica de C do sistema, devido à entrada de C, sua taxa de decomposição e

transferência para as frações da matéria orgânica do solo (MOS)

O estudo da matéria orgânica do solo tem avançado com a utilização de isótopos estáveis. Segundo Balesdent et al. (1987), o uso da abundância natural do ^{13}C pode identificar a origem do C do solo, desde que a MOS formada reflita o material vegetal de origem. Assim, a origem da matéria orgânica do solo pode ser identificada uma vez que durante o processo de decomposição do resíduo vegetal foi observado que não ocorre discriminação isotópica do ^{13}C entre o material de origem e a MOS originada (Melillo et al., 1989). Porém, para utilizar essa técnica, é necessário que haja mudança na razão isotópica do C na MOS. Em espécies de mesma rota fotossintética é muito difícil se utilizar a abundância natural do ^{13}C , pois haverá pequenas ou nulas mudanças na razão isotópica.

Uma alternativa para utilizar a técnica do traçador isotópico seria o enriquecimento da planta com ^{13}C , como por exemplo, por meio do enriquecimento da atmosfera e fixação do $^{13}\text{CO}_2$. Dessa forma, é possível traçar seu destino no solo após sua incorporação, melhorando o entendimento da dinâmica e os mecanismos de estabilização da MOS.

A maioria dos modelos de dinâmica da MOS leva em consideração apenas a taxa de decomposição de vários compartimentos da matéria orgânica, o que significa apenas considerar a entrada de C no sistema para determinar os estoques de C (Stewart et al., 2007). Assim, os modelos preveem linearidade entre o input de C e os estoques de C orgânico do solo, ou seja, os estoques de C podem aumentar infinitamente, não havendo saturação de C no solo (Six et al., 2002). Isso aponta para uma eficiência de estocagem de C constante. Porém, baseado nos processos físico-químicos, alguns trabalhos sugerem que há um nível de saturação de C (Six et al., 2002; Plante et al., 2006).

Assim, o presente estudo avaliou a estabilização do C derivado de resíduos de eucalipto marcados com ^{13}C aplicados em cinco solos de textura muito argilosa sob condições de cinco níveis de déficit de saturação de C do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido em laboratório sob condições controladas. Os tratamentos resultaram de um esquema fatorial 5 x 5 x 6, sendo: cinco solos; cinco déficit's de saturação de C de acordo com profundidade (0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-100 cm); e cinco resíduos de eucalipto (folhas, galhos, raízes, cascas e lenho) mais um testemunha sem resíduo.

Foram utilizados cinco Latossolos, pois se esperaria menor variabilidade textural ao longo do perfil e alta proteção química e física da matéria orgânica do solo pela textura mais argilosa, sendo: Luís Antônio – SP classificado como Latossolo Vermelho distrófico; Curvelo – MG classificado como Latossolo Vermelho distrófico; Belo Oriente – MG classificado como Latossolo Amarelo distrófico; Bom Despacho – MG classificado como Latossolo Vermelho distrófico; Virgíópolis – MG classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Esses solos apresentam teores distintos de matéria orgânica, estavam sob vegetação nativa e a textura varia entre argilosa a muito argilosa, pois nestas condições se esperava a expressão do potencial máximo de estocagem do C, assumindo que a camada mais superficial em cada solo teria um DSC = 0 (**Quadro 1**).

A dose do resíduo de eucalipto foi equivalente a 10 g de C para cada kg de solo.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições.

Os resíduos vegetais incubados com os solos foram provenientes de plantas de eucalipto cultivadas em tubetes e transferidas para solução nutritiva de Clark (1975) e marcadas com ^{13}C .

Após a caracterização dos solos, uma fertilização básica via solução foi feita em cada unidade experimental, procedendo-se a homogeneização.

Os solos dos tratamentos foram acondicionados em potes de 150 mL, adicionando-se 20 g de solo em cada pote. Posteriormente, elevou-se a umidade para 80 % da capacidade de campo. Em seguida, o resíduo marcado foi adicionado em cada pote de acordo com o respectivo tratamento. O experimento foi conduzido por um ano, sendo os potes abertos semanalmente para renovação do ar ambiente.

Para determinar a contribuição do ^{13}C do resíduo para a MOS realizou-se o fracionamento físico da MOS, proposto por Cambardella & Elliot (1992), obtendo as frações MOP e MOAM.

O teor total de C e a abundância de ^{13}C (δ) de cada fração obtida foram dosados em

espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo (ANCA-GSL, 20-20, Sercon, Crewe, UK) e os resultados referenciados ao padrão internacional PDB, expressos em partes per mil (‰).

A proporção de C de cada fração da MOS que era derivada do eucalipto foi calculada de acordo com a equação (Stewart, et al., 2009):

$$f = (\delta_t - \delta_s) / (\delta_r - \delta_s)$$

em que:

δ_t = $\delta^{13}\text{C}$ de cada fração da MOS ao fim de 12 meses;

δ_s = $\delta^{13}\text{C}$ da fração da MOS no tratamento sem adição de resíduo;

δ_r = $\delta^{13}\text{C}$ do resíduo de eucalipto adicionado.

A quantidade de C do resíduo menor que 2 mm estabilizado de cada fração foi calculado multiplicando-se o fator (f) previamente obtido com o conteúdo de C obtido em cada fração. Assim, foi possível determinar a taxa de recuperação do C aplicado ao solo como resíduo de eucalipto nas frações MOP e MOAM da MOS.

O déficit de saturação de C (DSC) dos solos foi estimado assumindo que o teor de C da camada mais superficial estava próximo do nível de saturação (DSC=0) e que as camadas subsuperficiais apresentavam valores crescentes de DSC proporcionais às reduções nos seus teores de C (**Quadro 1**).

Análise estatística

Os dados de cada solo foram submetidos à análise de variância e, após desdobramento da interação dupla entre DSC e tipos de resíduo, por meio de regressões, avaliou-se o efeito do DSC e do tipo de solo na estabilização do ^{13}C do resíduo de colheita de eucalipto aplicado adotando-se o nível de significância de até 10 % com base no Quadrado Médio do Resíduo da análise de variância. Utilizou-se para o processamento dos dados o programa STATISTICA versão 8.0 (StatSoft, Inc., 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, os solos de Luís Antônio e de Virgíópolis apresentaram maior conteúdo de C na fração da matéria orgânica particulada (MOP), sendo 2,4 e 4,2 g kg⁻¹, respectivamente. Nos solos de Curvelo, Belo Oriente e Bom Despacho, os conteúdos foram de 1,77; 1,75 e 1,79 g kg⁻¹, respectivamente. Em relação aos tratamentos sem resíduo, os solos de Luís Antônio, Curvelo, Belo Oriente, Bom Despacho e Virgíópolis que tiveram resíduo adicionado apresentaram valores,

respectivamente, 74,4; 151,7; 94,8; 117,5; 50,3 % superiores àqueles sem aplicação de resíduos. Em média, os tratamentos sem resíduo apresentaram valor de 1,31 g kg⁻¹ de C na MOP

A contribuição (f) média de C do resíduo na MOP foi de 0,449 (ou 44,9 %), com os tratamentos do solo de Virginópolis apresentando menor média, independente do déficit de saturação de C ($\hat{y} = 0,239$) e os de Curvelo a maior média ($\hat{y} = 0,575$), enquanto que os tratamentos dos solos de Luís Antônio, Belo Oriente e Bom Despacho apresentaram valores médios de f iguais 0,436; 0,509 e 0,489 (**Figura 1**)

A proporção de C do resíduo na MOP foi influenciada significativamente pelo déficit de saturação de C (DSC) de forma linear e positiva de maneira geral, independentemente do solo (**Figura 1**), sendo, em média, 177 % maior para os maiores DSCs em relação ao menor DSC (da camada mais superficial).

A proporção média de C do resíduo transferida para a MOAM para todos os solos foi de 0,073 (ou 7,3 %), com os tratamentos do solo de Virginópolis apresentando menor média, independente do déficit de saturação de C ($\hat{y} = 0,036$) e os de Belo Oriente a maior média ($\hat{y} = 0,097$), enquanto que os tratamentos dos solos de Luís Antônio, Curvelo e Bom Despacho apresentaram valores médios de 0,07; 0,09 e 0,07, respectivamente (**Figura 2**).

De maneira geral, a proporção de C do resíduo na MOAM foi influenciada significativamente pelo DSC de forma linear e positiva, independentemente do solo (**Figuras 2**), sendo, em média, 165 % maior para os maiores DSC em relação ao máximo admitido de COT (adotando DSC=0 na camada de 0-10 cm).

A taxa de recuperação de C do resíduo na MOAM relativa à MOP+MOAM foi influenciada significativamente pelo DSC de forma linear e positiva de maneira geral, independentemente do solo (**Figuras 3**). Ela foi, em média, 10,6 % maior para os maiores DSC em relação ao máximo de COT das camadas mais superficiais (DSC=0).

A diferença entre o nível de saturação teórico (tomado no presente estudo como a camada mais superficial de solos argilosos, provenientes de áreas de vegetação nativa) e o conteúdo atual de C do solo tem sido definida como sendo o déficit de saturação de C (Stewart et al., 2007). De acordo com esse conceito, quanto mais distante um solo está da saturação de C (maior o déficit de saturação), maior é o potencial de estocar C e maior o potencial de estabilizar o C adicionado (Stewart et al., 2008) via resíduo de colheita.

O presente trabalho está em concordância com os resultados destes trabalhos, uma vez que foi

observado que quanto maior o déficit de saturação de C maior proporção de C derivado do resíduo foi encontrado na MOP e MOAM, resultando em maior taxa de recuperação do C do resíduo na matéria orgânica estável (MOAM).

CONCLUSÕES

A eficiência de conversão do resíduo de eucalipto em matéria orgânica é maior em solos com maior déficit de saturação de C e a estabilização ocorre principalmente na fração MOAM.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG e ao CNPq, pelo contínuo suporte financeiro às pesquisas em nossos laboratórios.

REFERÊNCIAS

- BALESDENT, J.; MARIOTTI, A. & GUILLET, B. Natural ¹³C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Biology and Biochemistry*, 19:25-30, 1987.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56:777-783, 1992.
- LAL, R. Soil quality impacts of residue removal for bioethanol production. *Soil and Tillage Research*, 102:233-241, 2008.
- MELILLO, J. M.; ABER, J. D.; LINKINS, A. E.; RICCA, A.; FRY, B.; NADELHOFFER, K. J. Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: Plant litter to soil organic matter. *Plant and Soil*, Dordrecht, 115:189-198, 1989.
- MENDHAM, D. S.; HEAGNEY, E. C.; CORBEELS, M.; O'CONNELL, A. M.; GROVE, T.S. & McMURTRIE, R. E. Soil particulate organic matter effects on nitrogen availability after afforestation with *Eucalyptus globulus*. *Soil Biology & Biochemistry*, 36:1067-1074, 2004.
- NAMBIAR, E.K.S. Sustained productivity of forest is a continuing challenge to Soil Science. *Soil Science Society of America Journal*, 60:1629-1642, 1996.
- PLANTE, A.F.; CONANT, R.T.; STEWART, C.E.; PASUTIAN, K. & SIX, J. Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70:287-296, 2006.
- SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A. & PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications C-saturation of soils. *Plant Soil*, 241:155-176, 2002.

StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.

STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R. T.; PLANTE, A. F.; SIX, J. Soil C saturation: concept, evidence and evaluation. *Biogeochemistry*, 86:19-31, 2007.

STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R. T.; PLANTE, A. F. & SIX, J. Soil carbon saturation: Evaluation and corroboration by long-term incubations. *Soil Biology & Biochemistry*, 40:1741-1750, 2008.

STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R. T.; PLANTE, A. F. & SIX, J. Soil carbon saturation: Implications for measurable carbon pool dynamics in long-term incubations. *Soil Biology & Biochemistry*, 41:357-366, 2009.

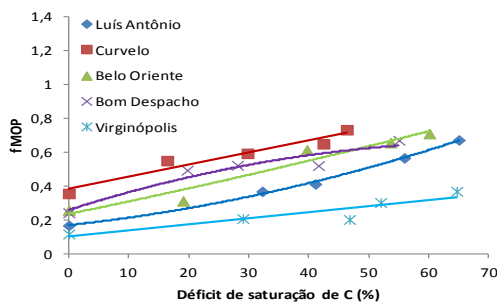


Figura 1. Proporção do C do resíduo adicionado na fração matéria orgânica particulada (MOP) de acordo com o déficit de saturação de C em cinco solos de regiões distintas.***, **, *, °: significativo a 0,1, 1, 5, 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

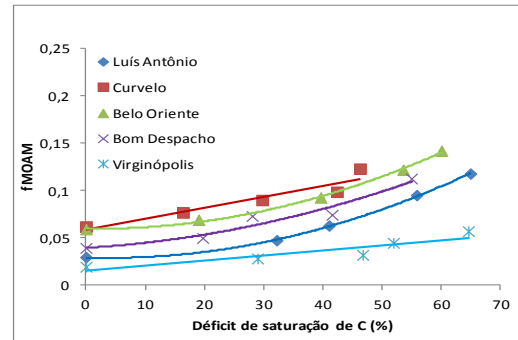


Figura 2. Proporção do C do resíduo adicionado na fração matéria orgânica associada à fração mineral (fMOAM) de acordo com o déficit de saturação de C em cinco solos de regiões distintas.***, **, *, °: significativo a 0,1, 1, 5, 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

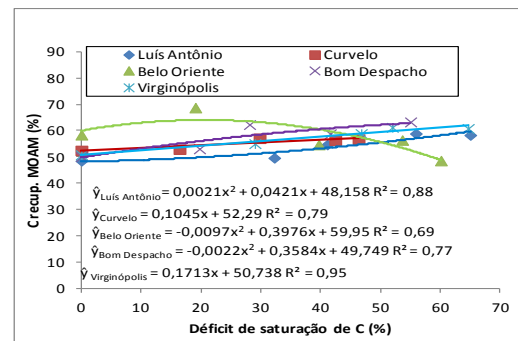


Figura 3. Taxa de recuperação do C do resíduo adicionado na fração matéria orgânica associada à fração mineral (MOAM) em relação ao recuperado na MOP + MOAM de acordo com o déficit de saturação de C em cinco solos de regiões distintas.***, **, *, °: significativo a 0,1, 1, 5, 10 % de probabilidade e ^{ns}: não significativo, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 1. Teores de COT (g kg⁻¹) e déficit's de saturação de C (DSC) (%) em cinco solos de regiões distintas sem adição dos tratamentos com resíduo.

Profundidade (cm)	Luís Antônio		Curvelo		Belo Oriente		Bom Despacho		Virginópolis	
	COT (g/kg)	DSC (%)	COT (g/kg)	DSC (%)	COT (g/kg)	DSC (%)	COT (g/kg)	DSC (%)	COT (g/kg)	DSC (%)
0 - 10	28,18	0,00	18,11	0,00	17,70	0,00	22,76	0,00	52,60	0,00
10 - 20	19,10	32,23	15,15	16,39	14,33	19,04	18,27	19,73	37,35	28,99
20 - 40	16,61	41,07	12,72	29,77	10,68	39,66	16,37	28,09	28,00	46,76
40 - 60	12,43	55,89	10,43	42,41	8,21	53,60	13,29	41,59	25,27	51,95
60 - 100	9,87	64,98	9,73	46,31	7,07	60,08	10,24	55,01	18,60	64,63