

## Comissão 2.4 - Química do solo

# CARBONO, NITROGÊNIO E ABUNDÂNCIA NATURAL DE $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{15}\text{N}$ EM UMA CRONOSSEQUÊNCIA DE AGRICULTURA SOB PLANTIO DIRETO NO CERRADO GOIANO<sup>(1)</sup>

Roni Fernandes Guareschi<sup>(2)</sup>, Marcos Gervasio Pereira<sup>(3)</sup> & Adriano Perin<sup>(4)</sup>

### RESUMO

A conversão do cerrado nativo em sistemas agropecuários pode alterar com o passar dos anos de cultivo os teores de C e N, bem como o sinal isotópico do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  do solo. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de C, N e abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  no perfil do solo em uma cronossequência de agricultura sob sistema plantio direto (SPD) no cerrado goiano. Para isso, em Montividiu, GO, foram selecionadas áreas sob SPD com diferentes tempos de implantação: SPD com três anos de implantação (SPD3), SPD com 15 anos de implantação (SPD15) e SPD com 20 anos de implantação (SPD20), as quais foram comparadas com áreas de cerrado nativo (CE) e pastagem (PA). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50; 0,50-0,60; 0,60-0,80; e 0,80-1,00 m. O solo das áreas de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico. O manejo do solo sob SPD após 20 anos aumentou os teores de C e N na camada superficial do solo (0,00-0,05 m), em relação às outras áreas avaliadas. Nas demais profundidades avaliadas, observou-se que está ocorrendo aumento nos teores C e N com o passar dos anos de adoção do SPD (três para 15 anos); no entanto, tais áreas ainda não foram capazes de recuperar os teores desses elementos em relação à vegetação nativa de CE. Por meio dos resultados de  $\delta^{13}\text{C}$ , pôde-se constatar que a origem da MOS nas áreas de SPD é referente à plantas do ciclo fotossintético  $\text{C}_4$ . Verificou-se que até os 0,30 m do perfil do solo os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  estão reduzindo com o passar dos anos de adoção do SPD. Os menores e maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  foram encontrados nas áreas de CE e PA, SPD3, enquanto

---

<sup>(1)</sup> Trabalho extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Recebido para publicação em 3 de abril de 2013 e aprovado em 28 de abril de 2014.

<sup>(2)</sup> Doutor, Departamento de Solos, UFRRJ. BR 465, km 7. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). Bolsista do CNPq. E-mail: guareschiecotarelli@hotmail.com

<sup>(3)</sup> Professor Associado IV, Departamento de Solos, UFRRJ. Bolsista do CNPq e Cientista do Nosso Estado da FAPERJ. E-mail: gervasio@ufrj.br

<sup>(4)</sup> Professor, Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde. Rod. Sul Goiana km 01, Zona Rural. CEP 75901-970 Rio Verde (GO). E-mail: perinrj@yahoo.com.br

**SPD15 e SPD20 apresentaram valores intermediários de  $\delta^{15}\text{N}$ , em relação às demais áreas avaliadas.**

**Termos de indexação: matéria orgânica do solo, composição isotópica, sistemas de manejo.**

**SUMMARY: CARBON, NITROGEN AND NATURAL ABUNDANCE OF  $\delta^{13}\text{C}$  AND  $\delta^{15}\text{N}$  IN THE CHRONOSEQUENCE OF NO-TILLAGE AGRICULTURAL IN THE CERRADO OF GOIAS, BRAZIL**

*The conversion of native vegetation in agricultural systems can change with over the years of growing levels of C and N as well as the isotopic signal of  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  of soil. The objective of this study was to evaluate the contents of C and N and the natural abundance of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in the soil profile in a chronosequence of no-tillage agriculture (NT) in the Cerrado (tropical savanna) of Goiás (GO), Brazil. For this purpose, areas under NT in Montividiu (GO) with the following characteristics were selected: three years under NT (NT3), fifteen years under NT (NT15), and 20 years under NT (NT20). They were compared to areas of native vegetation (CE) and pasture (PA). Soil samples were collected at depths of 0.00-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.30, 0.30-0.40, 0.40-0.50, 0.50-0.60, 0.60-0.80, and 0.80-1.00 m. The soil of the studied area was classified as a Latossolo Vermelho distroférrico (Oxisol). Soil management in NT after 20 years increased the C and N contents in the surface soil layer (0.00-0.05 m) in relation to other areas assessed. In the other depths evaluated, there has been an increase in C and N contents according to the years since adoption of NT (3 to 15 years); however, these areas have not yet been able to recover the contents of these elements in relation to native vegetation (CE). From the  $\delta^{13}\text{C}$ , it can be seen that the origin of soil organic matter (SOM) in the NT areas is related to plants of the C4 photosynthetic pathway. However, it was found that up to 0.30 m depth, the  $\delta^{13}\text{C}$  have been decreasing over the years since adoption of NT. The lowest values of  $\delta^{15}\text{N}$  were found in the areas of CE and PA, and the highest values were found in NT3, while the NT15 and NT20 areas had intermediate values of  $\delta^{15}\text{N}$  compared to the other areas assessed.*

*Index terms: soil organic matter, isotopic composition, soil management systems.*

## INTRODUÇÃO

A paisagem do Estado de Goiás foi submetida a significativas alterações, principalmente em razão da substituição de vegetação nativa por extensas áreas de agricultura e pecuária. Atualmente, restam apenas 35 % da área original ocupada pelo bioma Cerrado em Goiás, com grande potencial de essa ser desmatada nos próximos anos para a implantação de novos projetos agropecuários (Ferreira et al., 2007).

Além do desmatamento do Cerrado, a degradação do solo em decorrência da falta de manejo adequado é um fator agravante que ocorre com a implantação da agricultura e pecuária nessas áreas. Em Goiás, as áreas com pastagens degradadas representam aproximadamente 4,75 milhões de hectares (Sassine, 2009). O uso intensivo do solo sob sistema de plantio convencional (SPC) é também um meio de degradação muito comum no Estado de Goiás. No SPC, a aração e gradagem no preparo do solo para o plantio rompem os agregados e compactam o solo abaixo da camada preparada e o deixa descoberto, ocasionando perdas por erosão e redução do teor de MOS e da sua fertilidade (Guareschi et al., 2012a).

Diante desse cenário, o sistema de plantio direto (SPD) surge como uma das alternativas capaz de reverter a degradação do solo. Estudos indicam que a

adoção do SPD no Cerrado promove acúmulo de carbono orgânico (C) e nitrogênio (N), desencadeando em melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo (Siqueira Neto et al., 2010; Costa Junior et al., 2011a; Guareschi et al., 2012b). No entanto, os benefícios promovidos pelo SPD ocorrem com o passar dos anos, levando de 10 a 15 anos para se tornarem expressivos (Carvalho et al., 2009). Dessa forma, é necessário obter mais informações sobre o padrão desse acúmulo de C e N em áreas de SPD com diferentes anos de implantação e com sucessão soja-milho.

Durante o processo de decomposição de resíduos vegetais, observa-se que praticamente não ocorre mudança do sinal de  $\delta^{13}\text{C}$  entre o material de origem e a matéria orgânica do solo (MOS) (Melillo et al., 1989). Assim, com base na análise da variação na abundância de  $\delta^{13}\text{C}$  é possível identificar a origem da MOS (Alves et al., 2008; Guareschi et al., 2012b). Já com a análise dos teores de  $\delta^{15}\text{N}$  da MOS, podem-se obter informações de variações atribuídas aos processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, às associações com microrganismos, às diferentes fontes de N utilizadas e à demanda de N pelas plantas (Hogberg, 1997).

A análise da variação na abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  serve como ferramenta para confirmar o histórico de cultivo das áreas de estudo, bem como evidenciar o quanto os resíduos vegetais das culturas semeadas

nas áreas estão contribuindo para a formação da MOS em determinado ambiente (Siqueira Neto et al., 2010; Guareschi et al., 2012b). Quanto ao  $\delta^{15}\text{N}$ , observa-se que quando ocorrem reações de mineralização, nitrificação, denitrificação e volatilização, associadas às assimilações de N pelas plantas, têm-se maior decomposição do isótopo mais leve de N ( $^{14}\text{N}$ ), deixando a matéria orgânica restante enriquecida em átomos de  $^{15}\text{N}$  (Bustamante et al., 2004). Dessa forma, segundo Mendonça et al. (2010), menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  estão associados à maior quantidade de MOS, enquanto em áreas onde se tem menores valores de carbono orgânico encontraram-se os maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , o que é indício da decomposição da matéria orgânica.

A hipótese deste trabalho é que o SPD em razão do tempo de implantação aumente os teores de C e N do solo e que a sucessão de culturas soja/milho dessas áreas alterem a origem da MOS em relação à vegetação de Cerrado e, ou, pastagem que as antecederam. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar os teores de C, N e a abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  no perfil do solo sob sistema de plantio direto (SPD) com diferentes anos de implantação e compará-los a áreas de cerrado nativo e pastagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Montividiu Tiuba (17° 27' 52,2" S; 51° 10' 33,1" W; altitude 890 m), que está localizada próxima ao município de Montividiu, GO (Figura 1).

A precipitação pluvial anual média da região é de 1.740 mm, com clima tropical quente, Aw, segundo Köppen; estações chuvosas e secas bem definidas e relevo predominantemente plano. Os valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura para o ano agrícola de 2010, época das coletadas das amostras de solo para o estudo, são apresentados na figura 2.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distróférico (Embrapa, 2006). Na composição

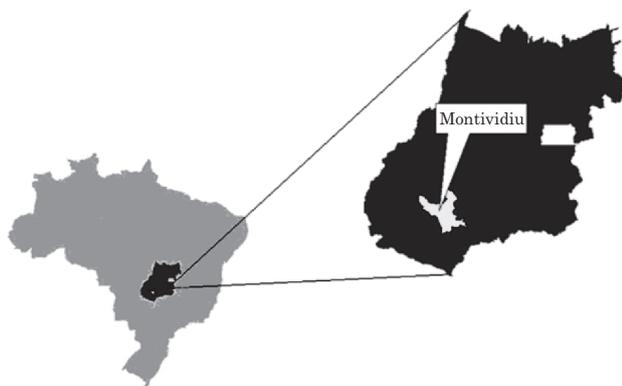


Figura 1. Localização da Fazenda Montividiu Tiuba em Montividiu, GO.

mineralógica da fração argila predominam caulinita, gibbsita, goethita e vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas.

Foram estudadas quatro áreas de cultivo: pastagem de *Brachiaria decumbens* (PA); SPD com três anos de implantação com cultivo de soja, no verão, e pousio, na safrinha (SPD3); SPD com 15 anos de implantação com rotação soja, no verão, milho/sorgo safrinha (SPD15); e SPD com 20 anos de implantação com rotação soja, no verão, milho safrinha (SPD20), sendo essas áreas comparadas a uma área de cerrado nativo *stricto sensu* (CE).

O Cerrado nativo utilizado como referência está localizado dentro da área de reserva da Fazenda Montividiu Tiuba. A área de pastagem de *Brachiaria decumbens* vem sendo cultivada com uma taxa de lotação aproximada de 1,5 unidade animal por hectare. A área de SPD3 foi implantada no ano de 1987, com a derrubada do Cerrado e o cultivo com pastagem durante 20 anos. Após esse período, foi cultivada com a cultura do arroz por um ano e há três anos foi adotado o SPD com cultivo de soja (Figura 3). Já a área de SPD15 possui um histórico de 27 anos de cultivo convencional com plantio de soja, no verão, e milho safrinha, sendo o SPD adotado em 1995 (Figura 3). A área de SPD20 possui o mesmo histórico de uso da área SPD15, porém, a adoção do SPD foi realizada em 1990 (Figura 3). Atualmente, as áreas de SPD15 e SPD20 vêm sendo cultivadas com soja, no verão, e milho ou sorgo safrinha.

As principais culturas dos sistemas agrícolas, com as suas respectivas adubação básica, foram as seguintes: 1) SPD3 e SPD 15 - a) soja, no verão: 458 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 02-20-20; b) milho safrinha: 312 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 12-15-15, no plantio, e 120 kg ha<sup>-1</sup> de ureia, em cobertura aos 25 DAE; e 2) SPD 20 - a) soja, no verão: 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 02-20-20 + 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em cobertura; b) milho safrinha: 30 kg ha<sup>-1</sup> de N + 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O no sulco e 120 kg ha<sup>-1</sup> de ureia, em cobertura aos 25 DAE. O SPD3 recebeu calagem em

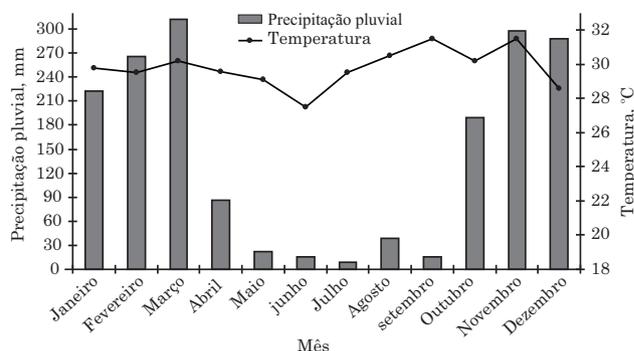
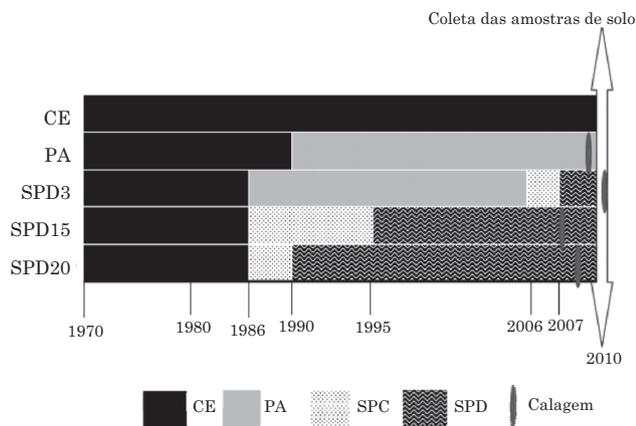


Figura 2. Valores médios de precipitação pluvial e temperatura média no ano de 2010. Fonte: Estação Meteorológica da Fesurv - Universidade de Rio Verde, GO.



**Figura 3. Representação do histórico de cultivo das áreas avaliadas. Fonte: Entrevista com os proprietários de cada área.**

2006 e 2010; o SPD15, em 2007; e o SPD20, em 2008. Já a área de PA recebeu uma aplicação de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, em 2009 (Figura 3).

Em cada área, foi demarcada uma parcela de 2,25 ha (150 × 150 m) e, em cada uma, foram abertas cinco trincheiras de aproximadamente 1 × 1 m de superfície e 1 m de profundidade em posição aleatória. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com cinco repetições para cada área. Em cada uma das trincheiras, nas diferentes áreas, foi realizada a coleta de amostras indeformadas, com auxílio de um anel volumétrico (Embrapa, 1997), nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50; 0,50-0,60; 0,60-0,80; e 0,80-1,00 m.

Nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, foram coletadas amostras deformadas, as quais foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), em que foi realizada a caracterização química e análise granulométrica (Embrapa, 1997) (Quadro 1).

Os teores de C orgânico e N foram quantificados por meio de combustão seca por analisador Elementar analysensysteme GmbH, Hanau, Alemanha (CHNS). A abundância natural do <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N foi determinada com o auxílio do espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus, no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA-USP, em Piracicaba. Os resultados de <sup>13</sup>C, oriundos de três repetições, foram expressos na forma de δ<sup>13</sup>C (‰), em relação ao padrão internacional PDB (Belemnitella Americana da formação Pee Dee); já os de <sup>15</sup>N, na forma de δ<sup>15</sup>N (‰), em relação ao padrão δ<sup>15</sup>N do ar (0,3663 ‰).

Em cada profundidade foi feita a avaliação da normalidade dos dados (Lilliefors) e a homogeneidade das variâncias dos erros pelo Teste de Cochran & Bartlett. Posteriormente, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste t a 5 %, com auxílio do programa Assistat (Silva & Azevedo, 2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral e independentemente da profundidade analisada, as áreas PA e SPD3 apresentaram os menores valores de C, em relação às demais áreas avaliadas (Figura 4). Uma possível explicação para os baixos valores de C na área de SPD3, em relação aos demais sistemas de cultivo, pode ser atribuída ao pequeno tempo de adoção do sistema. Segundo Carvalho et al. (2009), o acúmulo de C orgânico total no SPD ocorre muito lentamente, levando de 10 a 15 anos para se tornar expressivo. Já os baixos teores de C da área de PA podem estar relacionados à sua baixa produtividade, à ausência de manejo e pastoreio intensivo, ao pequeno aporte de resíduos vegetais e também à redução na distribuição do sistema radicular. Silva et al. (2004) também verificaram que pastagens de baixa produtividade em diversas regiões do Cerrado favoreceram a redução do teor de C no solo.

Verifica-se, ainda, pela figura 4, que na camada de 0,0-0,05 m está ocorrendo aumento nos teores de C em razão do tempo de implantação do SPD, e que a área de SPD20 apresenta valores de C superiores aos observados na área de CE. Os maiores teores de C na área de SPD20 na camada superficial são oriundos do aporte de resíduos vegetais de diferentes quantidades e relações C/N. Resultados semelhantes foram encontrados por Matias et al. (2009), em que os autores verificaram que em áreas de SPD em um Latossolo na região de Uruçuí, PI, apresentou aumento nos teores de C em relação às áreas de Cerrado nativo. Da mesma forma, Corazza et al. (1999), estudando o C no solo de diferentes sistemas de manejo em relação às áreas de Cerrado nativo, em um Latossolo Vermelho-Escuro na região de Planaltina, DF, constataram que o SPD aumentou o estoque de C em relação à área de CE. Segundo esses autores, esse aumento pode ser atribuído à maior taxa de adição de C ao solo, sendo resultante do aumento da produtividade primária do ecossistema promovido pelo menor revolvimento do solo.

Os maiores valores de C do CE nas profundidades (0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; e 0,40-0,50 m) são decorrentes do aporte constante de resíduos vegetais e não perturbação do sistema (Siqueira Neto et al., 2009). Nessas mesmas profundidades, o teor de C das áreas de SPD15 e SPD20 não diferiu entre si e foram superiores ao SPD3. Esse padrão demonstra aumento no teor de C em razão do tempo de implantação (três para 20 anos); entretanto, esse aumento é menos expressivo que o observado na camada de 0,0-0,05 m. Segundo Bayer & Mielniczuk (1999), o acúmulo de MOS no SPD ocorre lentamente; sendo assim, pode-se inferir pelos resultados deste trabalho que 20 anos de implantação do SPD promoveram aumento no teor de C nessas profundidades.

Uma possível explicação para os teores de C semelhantes (0,50-0,60 e 0,60-0,80 m) e superiores

**Quadro 1. Atributos químicos e granulométricos das áreas de Cerrado (CE), de pastagem (PA) e de sistema plantio direto com três (SPD3), 15 (SPD15) e 20 (SPD20) anos de implantação**

Área <sup>(1)</sup>	pH(H <sub>2</sub> O)	P	Ca	Mg	K	Al	H+Al	T	V	Argila	Silte	Areia
		mg kg <sup>-1</sup>	————— cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> —————			————— mg kg <sup>-1</sup> —————			%	————— g kg <sup>-1</sup> —————		
0,00-0,05 m												
CE	4,4	9,5	0,8	1,9	0,2	0,5	13,3	16,2	18	410	170	420
PA	5,7	2,1	3,9	4,7	0,2	0,0	7,3	16,3	55	600	190	210
SPD3	5,2	26,7	1,6	2,0	0,3	0,1	3,6	7,7	53	590	270	140
SPD15	5,0	33,6	2,6	2,9	0,3	0,1	4,6	10,6	56	630	170	200
SPD20	6,2	32,1	2,6	2,8	0,3	0,0	2,8	8,6	67	410	120	470
0,05-0,10 m												
CE	3,6	5,8	0,0	1,1	0,1	0,9	9,9	11,0	11	390	200	410
PA	5,6	1,5	3,0	3,0	0,1	0,0	5,0	11,2	55	570	240	190
SPD3	5,1	20,9	0,9	1,7	0,3	0,1	3,8	6,6	42	610	270	120
SPD15	4,9	29,1	1,9	1,9	0,3	0,2	4,0	8,2	53	670	160	170
SPD20	5,3	29,2	1,8	1,8	0,3	0,1	3,9	7,9	50	460	110	430
0,10-0,20 m												
CE	3,8	4,8	0,0	0,9	0,1	0,8	10,1	11,1	9	380	170	450
PA	5,5	1,7	2,5	1,7	0,1	0,0	7,7	12,0	36	590	220	190
SPD3	4,3	18,4	0,1	0,8	0,2	0,1	2,2	3,4	35	610	280	110
SPD15	4,5	28,7	1,4	1,3	0,3	0,3	3,3	6,3	48	660	180	160
SPD20	4,4	28,4	1,3	1,3	0,3	0,2	3,4	6,4	47	470	100	430

<sup>(1)</sup> CE: cerrado nativo; PA: Pastagem; SPD3: sistema de plantio direto com três anos de implantação; SPD15: sistema de plantio direto com 15 anos de implantação; e SPD20: sistema de plantio direto com 20 anos de implantação.

(0,80-1,00 m) da área de SPD20 em relação à área de CE é a presença de capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) durante a entressafra. O sistema radicular agressivo e bem desenvolvido dessa gramínea invasora pode estar incrementando com resíduos orgânicos as camadas subsuperficiais do solo, promovendo o aumento de MOS. Resultados semelhantes foram relatados por Siqueira Neto et al. (2009) e Loss et al. (2012), os quais também verificaram valores de C orgânico em profundidade semelhantes à vegetação nativa, atribuindo esse fato à ocupação de plantas invasoras durante a entressafra em áreas de SPD.

Quanto aos resultados de N total do solo, observa-se que não houve diferenças significativas entre as áreas nas profundidades de 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m, e que, independentemente da profundidade avaliada, as áreas PA e SPD3 apresentaram os menores valores de N em relação aos demais sistemas de manejo (Figura 4). Os menores teores de N na área SPD3 são resultantes de 20 anos de pastagem degradada que antecederam a implantação do SPD; já na área PA, os baixos teores de N decorrem da baixa produtividade e falta de manejo adequado do solo.

Nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, houve aumento dos teores de N em razão do tempo de implantação do SPD; na área de SPD20 (0,0-0,05 m) já se quantificam valores superiores aos observados na área de CE (Figura 4). O aumento dos teores de N por causa do tempo de implantação do SPD ocorre em

virtude do maior uso de leguminosas e da implantação de espécies (*Pennisetum glaucum*) com maior produção de biomassa, o que conseqüentemente aumenta o teor de MOS, promovendo maior armazenamento de N total no solo (Mielniczuk et al., 2003). O aumento dos teores N no solo em áreas de SPD em relação às áreas de CE também foi constatado por Buso & Kliemann (2003), os quais, ao avaliarem a camada de 0,0-0,12 m em um Latossolo Vermelho distrófico na região de Rio Verde, GO, observaram que o SPD proporciona aumento no estoque de N total do solo em relação ao CE.

Observa-se nas camadas mais profundas (0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50; e 0,50-0,60 m) que as áreas SPD15 e SPD20 não diferiram entre si e foram superiores ao SPD3. Diante disso, percebe-se que as maiores modificações nos teores de N encontram-se nas camadas superiores do solo (0,0-0,05 e 0,05-0,10 m) e que 20 anos de adoção de SPD aumentou o teor de N em relação à área SPD3. Esse padrão pode estar ocorrendo por causa da menor influência dos resíduos vegetais nas camadas mais profundas do solo, bem como da menor ação de microrganismos decompositores da MOS nessas camadas.

Os resultados de abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) no perfil do solo demonstraram que a área de CE apresentou maior aporte de resíduos vegetais oriundos de plantas C<sub>3</sub> em todas as profundidades examinadas (Figura 5). Esse resultado é coerente, visto que a

vegetação de CE sempre foi composta principalmente por espécies arbóreas e pequenos arbustos desse ciclo fotossintético. Durante a fotossíntese, plantas do ciclo  $C_3$  e  $C_4$  discriminam o isótopo  $^{13}C$  com diferentes graus de intensidade. Baseando-se na literatura, tem-se que plantas  $C_3$  apresentam valores  $\delta^{13}C$  entre -33 e -22 ‰, enquanto em plantas  $C_4$  tais valores situam-se entre -16 e 9 ‰. A área PA, por ter recebido aporte de resíduos vegetais oriundos de gramíneas, apresentou valores de  $\delta^{13}C$  próximos à faixa de discriminação normal para plantas  $C_4$  (Figura 5).

Entre as áreas de SPD, observa-se que, até os 0,30 m do solo, o sinal de  $\delta^{13}C$  (‰) está reduzindo em razão do tempo de implantação, ou seja, onde a área SPD20 está se modificando em direção aos valores médios estabelecidos para plantas  $C_3$  (Figura 5). Isso pode estar ocorrendo porque nessas áreas a matéria orgânica tem grande contribuição de resíduos vegetais derivados, principalmente de plantas  $C_3$  (soja) (Guareschi et al., 2012b). Dos 0,30 aos 1,00 m de profundidade, as áreas de SPD apresentaram sinais de  $\delta^{13}C$  (‰) semelhantes à área da PA. Esse resultado pode ser explicado em razão de três motivos: antes da implantação da área SPD3, essa área foi ocupada por pastagem por 20 anos, o que pode ter modificado o sinal de  $\delta^{13}C$  (‰) da vegetação de origem, por causa da agressividade do sistema radicular de gramíneas sob pastagem; as áreas SPD15 e SPD20 podem ser originadas de outra variação de CE (cerradinho), com

vegetação arbórea mais dispersa e com maior presença de gramíneas entre as árvores nativas; e a utilização de sorgo e milho na safrinha e presença de plantas invasoras como o capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) durante a entressafra podem ter contribuído para modificar o sinal de  $\delta^{13}C$  (‰) da vegetação de origem, em consequência da agressividade do sistema radicular dessas gramíneas sob essas condições de cultivo.

Independentemente da profundidade analisada, verifica-se que as áreas de PA e SPD3 apresentaram valores da abundância natural de  $\delta^{15}N$  semelhantes entre si e superiores em relação aos demais sistemas de manejo (Figura 5). Em relação às demais áreas avaliadas, percebe-se que o CE apresentou os menores valores da abundância natural de  $\delta^{15}N$ , enquanto as áreas SPD15 e SPD20, padrão intermediário.

Em todas as áreas ocorreu enriquecimento de  $\delta^{15}N$  em profundidade, o que pode estar associado às transformações que envolvem a decomposição da matéria orgânica e à liberação do N, passando esse para a forma iônica. De acordo com Hogberg (1997), as reações de mineralização, nitrificação, desnitrificação e volatilização ocorrem associadas às assimilações de N pelas plantas, desencadeando maior decomposição do isótopo mais leve de N ( $^{14}N$ ), tornando a matéria orgânica restante enriquecida em átomos de  $^{15}N$ .

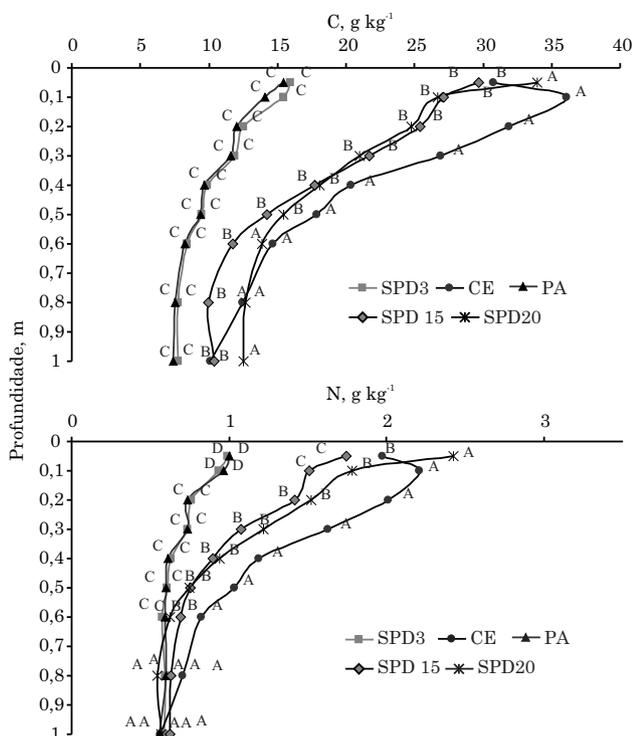


Figura 4. Carbono total e nitrogênio total das áreas avaliadas. Médias seguidas de mesma letra, dentro de cada profundidade separadamente, não diferem entre si pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

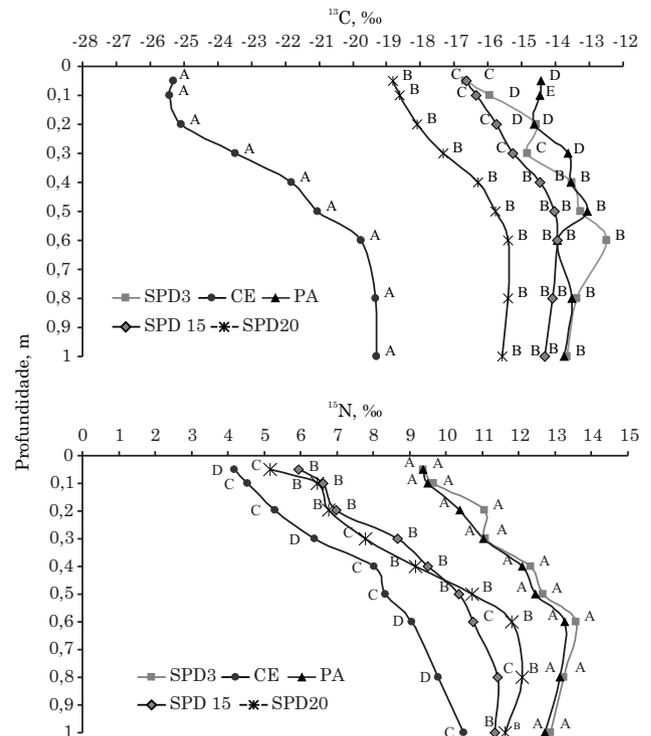


Figura 5. Abundância natural de  $\delta^{13}C$  e de  $\delta^{15}N$  no perfil do solo das áreas avaliadas. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre os sistemas de manejo do solo, pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

Resultados semelhantes foram obtidos por diversos pesquisadores (Siqueira Neto et al., 2010; Costa Junior et al., 2011b; Loss, 2011).

Os maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  nas áreas PA e SPD3 é indício do maior grau de decomposição da matéria orgânica (Mendonça et al., 2010). Ao avaliar diferentes sistemas de manejo (CE, SPD com e sem ILP) em um Latossolo de Rio Verde, GO, Loss (2011) também constatou que a área de CE apresentou esse padrão, maiores valores de C seguido de menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$ .

Os valores intermediários de  $\delta^{15}\text{N}$  das áreas SPD15 e SPD20 em relação aos demais sistemas de manejo podem estar ocorrendo porque sob condição de CE nativo tem-se maior estabilidade do sistema, quando comparado às áreas cultivadas sob SPD. Nessas áreas ocorrem maiores taxas de transformação de N (nitrificação), ocasionando maior decomposição do isótopo mais estável  $\delta^{14}\text{N}$  e, conseqüentemente, maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$ . Além disso, nas áreas de SPD, foram realizadas práticas de adubação e calagem por vários anos, o que pode ter ocasionado acréscimo da proporção de formas inorgânicas de N em relação à orgânica. Diante disso, a reserva orgânica torna-se mais susceptível às reações de transformação e torna-se isotopicamente mais pesada, com menores proporções de  $\delta^{14}\text{N}$  e enriquecido em átomos de  $^{15}\text{N}$  (Martinelli et al., 2009). Padrões similares aos observados nesse estudo foram encontrados por Costa Junior et al. (2011b) e Loss (2011), os quais, ao avaliarem diferentes sistemas de manejo em áreas de Latossolo no Cerrado goiano, verificaram enriquecimento isotópico em relação ao Cerrado nativo.

O solo da área de CE apresenta-se mais empobrecido em  $^{15}\text{N}$  que nas demais áreas avaliadas. Isso ocorre porque em florestas são nulas as entradas de N por fertilizantes e são baixas as taxa de fixação biológica de  $\text{N}_2$ , ou seja, a única entrada possível de N no sistema é pela chuva ( $\delta^{15}\text{N}$  médio de -6‰). Além disso, nessas condições, o N é retido na ciclagem interna do ecossistema, havendo pequeno aumento no valor de  $\delta^{15}\text{N}$  nesses solos (Trivelin, 2001).

Analisando ainda os dados de  $\delta^{15}\text{N}$ , pode-se inferir que a origem do N do solo das áreas de SPD deve-se às adições prolongadas de  $\text{NH}_4$ -fertilizantes utilizados principalmente na cultura de milho safrinha. Segundo Trivelin (2001), tais fertilizações resultam no enriquecimento de  $^{15}\text{N}$  dos solos, em razão das perdas parciais do N-fertilizante como nitrato, por desnitrificação, uma vez que o N- $\text{NH}_4$  residual, ou seja, aquele que não foi nitrificado, fica enriquecido em  $^{15}\text{N}$ .

No entanto, observa-se que até os 30 cm do perfil do solo está ocorrendo redução do sinal de  $\delta^{15}\text{N}$  em razão do tempo de implantação do SPD, o que pode ser justificado pela contribuição do N via fixação biológica da cultura da soja nessas áreas. Segundo Trivelin (2001), a entrada de N no solo pela fixação simbiótica de N, por meio do sistema radicular e dos

resíduos culturais de leguminosas, reduz o valor do  $\delta^{15}\text{N}$  do solo.

## CONCLUSÕES

1. O SPD em razão do tempo de implantação aumentou os teores de C (0,0-0,05 m) e N (0,0-0,10 m) do solo. Nas demais profundidades avaliadas, verifica-se apenas aumento desses atributos de três para 15 anos de implantação do SPD.

2. Por meio dos resultados de  $\delta^{13}\text{C}$ , pode-se constatar que a origem da MOS nas áreas de SPD é referente à plantas do ciclo fotossintético  $\text{C}_4$ . No entanto, verifica-se que até os 0,30 m do perfil do solo, os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  estão reduzindo com o passar dos anos de adoção do SPD.

3. Os menores e maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  foram encontrados nas áreas de CE, PA e SPD3, sendo esses padrões relacionados ao teor e às taxas de mineralização da MOS dessas áreas. Já as áreas SPD15 e SPD20 apresentaram valores intermediários de  $\delta^{15}\text{N}$  em relação às demais áreas avaliadas, em consequência das maiores taxas de nitrificação e do acréscimo da proporção de formas inorgânicas de N, em relação à orgânica.

## LITERATURA CITADA

- ALVES, B.J.R.; OLIVEIRA, O.C.; BODDEY, R.M. & URQUIAGA, S. Métodos isotópicos. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. 228-241p.
- BAYER, C. & MEILNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.1-26.
- BUSO, W.H.D. & KLIEMANN, H.J. Relações de carbono orgânico e de nitrogênio total e potencialmente mineralizável com o nitrogênio absorvido pelo milheto. *Pesq. Agropec. Trop.*, 33:97-105, 2003.
- BUSTAMANTE, M.M.C.; MARTINELLI, L.A.; SILVA, D.A.; CAMARGO, P.B.; KLINK, C.A. DOMINGUES, T.F. & SANTOS, R.V.  $^{15}\text{N}$  natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian savannas (Cerrado). *Ecol. Appl.*, 14:200-213, 2004.
- CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.P. & CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil Till. Res.*, 103:342-349. 2009.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.D.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo.*, 23:425-432, 1999.

- COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P.B.; CERRI, C.C. & BERNOUX, M. Carbono total e  $^{13}\text{C}$  em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:1241-1252. 2011a.
- COSTA JUNIOR, C.; SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C. & CAMARGO, P.B. Nitrogênio e abundância natural de  $^{15}\text{N}$  em agregados do solo sob diferentes usos da terra no Bioma Cerrado. *Ensaio Ci.: Ci. Biol. Agric.*, 15:47-66. 2011b.
- 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERREIRA, N.C.; FERREIRA, M.E. & LOBO, F.C. Riscos de desmatamentos e potencial de regeneração da vegetação nativa: definindo prioridades e estratégias territoriais. *Bol. Goiano Geogr.*, 27:83-96, 2007.
- GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G. & PERIN, A. Estoque de carbono em Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Agron.*, 7:597-602, 2012a.
- GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G. & PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. *R. Bras. Ci. Solo.*, 36:909-920, 2012b.
- HOGBERG, P. Tansley Review  $^{15}\text{N}$  natural abundance in soil-plant systems. *New Phytol.*, 137:179-203. 1997.
- LOSS, A. Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado goiano. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011. 134p. (Tese de Doutorado)
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. & ANJOS, L.H.C. Carbon and nitrogen content and stock in no-tillage and crop-livestock integration systems in the Cerrado of Goiás State, Brazil. *J. Agric. Sci.*, 4:96-105, 2012.
- MARTINELLI, L.A.; OMETTO, J.P.H.B.; FERRAZ, E.S.B.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P. B. & MOREIRA, M.Z. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo, Oficina de Textos, 2009. 143p.
- MATIAS, M.C.B.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C. & ARAÚJO, A.S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. *Acta Sci. Agron.*, 31:517-521, 2009.
- 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 Soil*, 115:189-198, 1989.
- MENDONÇA, L.A.R.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M.M.F.; CAMARGO, P.B.; LIMA, J.O. G. & MENDES FILHO, J. Identificação de mudanças florestais por  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  dos solos da Chapada do Araripe/Ceará. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 14:314-319. 2010.
- MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & BEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V, V.H., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.209-248.
- SASSINE, V.J. Expansão agrícola sem desmatar. 2009. Disponível em: <[http://www.site.sistemafaeg.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3289:popular-09082009-domingo&catid=10:clipping-digital](http://www.site.sistemafaeg.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=3289:popular-09082009-domingo&catid=10:clipping-digital)>. Acesso em: 27 Out. 2012.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C.C. & BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Sci. Agron.*, 31:709-717, 2009.
- SIQUEIRA NETO, M.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A.N.; DOUZET, J.M.; FELLER, C.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.C. & BERNOUX, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farms synchronic assessment. *Soil Till. Res.*, 110:187-195, 2010.
- SILVA, F.A.S. & AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *R. Bras. Prod.. Agric.*, 4:71-78, 2002.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; CORAZZA, E.J. & VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "cerrado" region, Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 103:357-363, 2004.
- TRIVELIN, P.C.O. Caracterização da abundância natural de  $^{15}\text{N}$  de solos. Piracicaba, CENA/USP, 2001. 20p.