

ABUNDÂNCIA NATURAL DE $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{15}\text{N}$ EM SISTEMAS DE MANEJO CONSERVACIONISTA NO CERRADO

NATURAL ABUNDANCE OF $\delta^{13}\text{C}$ AND $\delta^{15}\text{N}$ IN MANAGEMENT SYSTEMS CONSERVATION IN THE CERRADO

Arcângelo LOSS¹; Marcos Gervasio PEREIRA²; Adriano PERIN³;
Lúcia Helena Cunha dos ANJOS²

1. Professor Adjunto, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. arcangelo.loss@ufsc.br; 2. Professor Associado IV, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Seropédica, RJ, Brasil. 3. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, Brasil.

RESUMO: Diferentes sistemas de uso e manejo do solo modificam o sinal isotópico do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no perfil do solo em áreas com diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano. Foram avaliados dois sistemas com rotação de culturas: integração lavoura-pecuária - ILP (milho+braquiária/feijão/algodão/soja) e sistema plantio direto - SPD (girassol/milho/soja/milho). Uma área de Cerrado natural (Cerradão) foi tomada como condição original do solo. Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0,0-10,0; 10,0-20,0; 20,0-30,0; 30,0-40,0; 40,0-50,0; 50,0-60,0; 60,0-80,0 e 80,0-100,0 cm e mensurados o $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ do solo por meio de espectrômetro de massa. Em relação ao $\delta^{13}\text{C}$, verificou-se predomínio de plantas C_3 no Cerrado e influência das plantas C_4 nas áreas de SPD e ILP. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ apresentaram um enriquecimento isotópico de acordo com o aumento da profundidade, com maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ observados nas áreas cultivadas. A substituição da vegetação original de Cerradão para implantação de SPD e ILP acarretou mudanças no sinal $\delta^{13}\text{C}$, ou seja, após 17 anos de cultivo, a incorporação de carbono das gramíneas nestas áreas proporcionou um aumento do sinal de $\delta^{13}\text{C}$. A análise isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ indicou maior mineralização da matéria orgânica do solo com o aumento da profundidade do solo e com maiores taxas nas áreas cultivadas.

PALAVRAS-CHAVE: Composição isotópica. Sistema plantio direto. Sistema de integração lavoura-pecuária. Matéria orgânica do solo.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) estão reassumindo sua importância no cenário agrícola brasileiro, pois têm sido utilizados como alternativa aos atuais sistemas intensivos de cultivo e pouco sustentáveis (BALBINOT-JUNIOR et al. 2009; MARCHÃO et al., 2009; CARVALHO et al., 2010a; PACHECO et al., 2012). Os sistemas de ILP conduzidos em sistema de plantio direto (SPD) podem resultar em ganhos econômicos e ambientais, uma vez que a agricultura conservacionista é potencializada pela diversidade do sistema integrado, onde se criam novas rotas de ciclagem de nutrientes e novos processos ecossistêmicos emergem (CARVALHO et al. 2010b; ANGHINONI et al. 2011; FERREIRA et al. 2011; LOSS et al. 2011, 2012).

Nos últimos anos foram intensificados os trabalhos sobre o acúmulo de carbono (C) e nitrogênio (N) em solos de Cerrado, sob diferentes manejos (CARVALHO et al., 2010b; COSTA JUNIOR et al., 2011a; PEREIRA et al., 2012; LOSS et al., 2013). Porém, ainda torna-se necessário obter maior volume de dados sobre o padrão desse acúmulo, principalmente em áreas de

ILP, para melhor recomendar o manejo desses solos, principalmente na sucessão soja e milho safrinha do Centro-Oeste brasileiro (CARVALHO et al. 2009; MARTINS et al. 2009, LOSS et al., 2012). Desta forma, avaliações da matéria orgânica do solo (MOS) baseadas na determinação do C e N total por meio do emprego de técnicas isotópicas têm contribuído para estudos desta natureza, com ênfase em solos do Cerrado (COSTA JUNIOR et al. 2011a,b; LOSS et al. 2011).

Estas avaliações são baseadas na abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ da MOS (BUSTAMANTE et al. 2004; SISTI et al. 2004; ALVES et al. 2005; JANTALIA et al. 2007). O $\delta^{13}\text{C}$ e o $\delta^{15}\text{N}$ quantificados através de técnicas isotópicas têm sido bons indicadores do tipo de vegetação existente, e das modificações a que uma área foi submetida. Em regiões tropicais, esta técnica tem sido utilizada nos estudos de ciclagem da MOS em médio prazo, onde comumente florestas (ciclo fotossintético C_3) tem sido substituídas por culturas do ciclo fotossintético C_4 (JANTALIA et al. 2007; PINHEIRO et al. 2010, COSTA JUNIOR et al. 2011a,b).

As plantas superiores que fixam CO_2 através da rubisco (via C_3) têm composição

isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) que varia de -24 a -34‰ , enquanto nas plantas que fixam CO_2 pela PEPcase (via C_4) a composição em $\delta^{13}\text{C}$ é de -6 a -19‰ (SMITH; EPSTEIN 1971). Para o N, a variação da concentração de $\delta^{15}\text{N}$ oriundo de fontes naturais, tem como padrão o $\delta^{15}\text{N}$ do ar ($0,3663\text{‰}$), que está entre -10 a $+10\text{‰}$, sendo estas variações atribuídas aos processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, a associações com microorganismos, a diferentes fontes de N utilizadas na agricultura e a demanda de N pelas plantas (HOGBERG, 1997).

A conversão do bioma Cerrado, por meio da derrubada e queima da vegetação natural, em diferentes sistemas de manejo, pode reduzir os teores de MOS (BERNOX et al. 2004), provocando modificações na distribuição dos teores de C e N, assim como nos valores de abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (COSTA JUNIOR et al. 2011a,b). Neste sentido, é importante considerar que a ILP é elencada como um sistema de produção, em que vários fatores biológicos, econômicos e sociais se inter-relacionam e determinam a sua sustentabilidade (BALBINOT-JUNIOR et al. 2009).

Assim, avaliações baseadas na abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ da MOS podem discriminar

áreas em sistemas de ILP quando comparadas com áreas de SPD sem pastejo e áreas sob vegetação original. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no perfil do solo sob áreas de ILP, SPD e vegetação nativa de Cerrado (Cerradão).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Vargem Grande ($17^\circ 21'S$ e $51^\circ 28'W$), pertencente à Agropecuária Peeters, localizada em Montividiu, GO, Brasil. O clima da região se caracteriza por duas estações bem definidas: uma seca (de maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril). Para o ano agrícola de 2008 (época das coletadas das amostras de terra), os valores médios anuais de precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas foram, respectivamente, de 1774 mm, 30°C e $17,6^\circ\text{C}$. O solo nas áreas foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico com textura muito argilosa e relevo plano (Embrapa, 2006). A caracterização química e granulométrica nos diferentes sistemas e profundidades de uso do solo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica¹ do solo na camada de 0-20 cm nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Atributos avaliados	Sistemas Avaliados		
	SPD	ILP	Cerradão
pH	6,3	6,3	5,4
Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	3,6	4,1	1,2
Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	2,5	2,3	1,8
K (mg dm^{-3})	87,7	83,8	58,5
P (mg dm^{-3})	8,1	12,1	1,9
N (g kg^{-1})	1,29	1,73	2,20
COT	24,63	28,17	38,99
Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,11	0,10	0,70
Argila (g kg^{-1})	660	655	620
Silte (g kg^{-1})	126	115	130
Areia (g kg^{-1})	214	230	250

¹Conforme metodologia de Embrapa (1997). SPD = girassol/milheto/soja/milho; ILP = milho+ braquiária/feijão/algodão/soja. COT: Carbono orgânico total do solo.

A cobertura vegetal original da área é o Cerradão, retirado em 1975 para implantação de pastagens (*Urochloa decumbens*), que permaneceu na área sob uso contínuo por 10 anos, até 1985 (Figura 1).

Em seguida, as áreas foram manejadas por meio de aração e gradagem niveladora (sistema de preparo convencional - SPC) até o ano de 1991 (7 anos) para o cultivo de grãos (milho, feijão, soja e girassol). Posteriormente, foi implantado o Sistema

de Plantio Direto (SPD) com rotação de culturas – milho, soja, algodão, feijão - (1991 a 2008) e, a partir de 1999, parte do SPD foi convertido em Integração Lavoura-Pecuária (ILP) (1999 a 2008). Portanto, as áreas avaliadas vêm sendo conduzidas em SPD com as mesmas rotações de culturas, sendo SPD somente (1991 a 2008) e ILP (1999 a 2008) (Figura 1).

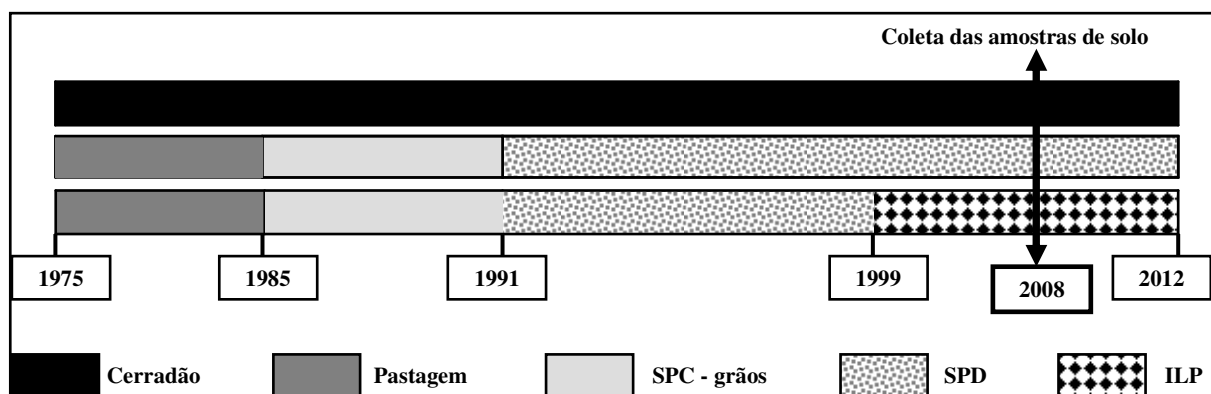


Figura 1. Histórico dos usos e processos de mudança do uso da terra, com as respectivas datas de implantação, na Fazenda Vargem Grande da Agropecuária Peeters, em Montividiu, GO.

Os sistemas avaliados consistiram de duas áreas cultivadas em SPD por 17 anos: uma somente com rotação de culturas (girassol-milheto-soja-milho), nas coordenadas 17°21.120'S; 51°29.461'W e altitude 958 m; e outra com braquiária (*U. ruziziensis*) em consórcio ao milho safrinha, para intensificar a produção de palhada no período seco do ano (milho-braquiária-feijão-algodão-soja), de coordenadas 17°21.854'S; 51°28.599'W e altitude 859 m. Nesta área foi utilizado o sistema de ILP, com o milho e a braquiária semeados simultaneamente (braquiária na entrelinha). Após a colheita do milho, foi feita a introdução de bovinos na área (2,0 UA por ha, sendo UA – unidade animal), com permanência dos animais por 90 dias (julho a setembro). Após a retirada do gado, permaneceram apenas as touceiras de braquiária na área. Em seguida, esperou-se que ocorressem as primeiras chuvas e

realizou-se uma adubação em cobertura na braquiária com 200 kg ha⁻¹ do formulado N P K (20:00:20) a lanço na primeira quinzena de setembro. Após a rebrota e cobertura total do solo com a braquiária, foi feita a dessecação e o plantio do feijão. Uma área de Cerrado natural (Cerradão) adjacente às áreas cultivadas (17°26.642'S; 51°22.522'W e altitude 951 m) foi considerada como condição original do solo.

Na área de ILP foi feita uma calagem em julho de 2005, utilizando-se uma dose de 3,60 Mg ha⁻¹ de calcário, com PRTN = 70 %, para elevar a saturação de bases para 70%. E, na área de SPD, foi realizada, também em julho de 2005, uma calagem na dose de 2,90 Mg ha⁻¹ de calcário, com PRTN = 70 %, para elevar a saturação de bases para 60%. A sequência de culturas e adubações utilizadas nas duas áreas, desde o ano de 2002 até 2008, está descrita na Tabela 2.

Tabela 2. Sequência de culturas e adubações utilizadas nas áreas avaliadas da Fazenda Vargem Grande da Agropecuária Peeters, em Montividiu, GO.

Ano	Mês	Cultura	Adubação	
			Plantio	Cobertura
Área de ILP (milho-braquiária-feijão-algodão-soja)				
2002	Outubro	Soja	580 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2003	Fevereiro	Milho+Braquiária	500 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de ureia
2003	Outubro	Soja	580 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2004	Fevereiro	Milho+Braquiária	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de ureia
2004	Outubro	Soja	500 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2005	Fevereiro	Milho+Braquiária	490 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de ureia
2005	Setembro	Feijão	400 kg ha ⁻¹ de 05:20:10	90 kg ha ⁻¹ de ureia
2005	Dezembro	Algodão	500 kg ha ⁻¹ de 10:30:10	250 kg ha ⁻¹ de 20:00:20
2006	Outubro	Soja	500 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2007	Fevereiro	Milho+Braquiária	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de ureia
2007	Outubro	Soja	450 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2008	Fevereiro	Milho+Braquiária	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de ureia
2008	Setembro	Feijão	400 kg ha ⁻¹ de 05:20:10	90 kg ha ⁻¹ de ureia
2008	Dezembro	Algodão	500 kg ha ⁻¹ de 10:30:10	250 kg ha ⁻¹ de 20:00:20
Área de SPD ¹ (girassol-milheto-soja-milho)				

2002	Agosto	Milheto	-----	-----
2002	Outubro	Soja	550 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2003	Fevereiro	Milho	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de ureia
2003	Agosto	Milheto	-----	-----
2003	Outubro	Soja	550 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2004	Fevereiro	Milho	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de ureia
2004	Agosto	Milheto	-----	-----
2004	Outubro	Soja	550 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2005	Fevereiro	Milho	450 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de ureia
2005	Agosto	Milheto	-----	-----
2005	Outubro	Soja	550 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2006	Fevereiro	Girassol	300 kg ha ⁻¹ de 02:20:20	100 kg ha ⁻¹ de ureia
2006	Agosto	Milheto	-----	-----
2006	Outubro	Soja	500 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2007	Fevereiro	Milho	400 kg ha ⁻¹ de 07:28:14	100 kg ha ⁻¹ de ureia
2007	Agosto	Milheto	-----	-----
2007	Outubro	Soja	500 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----
2008	Fevereiro	Girassol	300 kg ha ⁻¹ de 02:20:20	100 kg ha ⁻¹ de ureia
2008	Agosto	Milheto	-----	-----
2008	Outubro	Soja	500 kg ha ⁻¹ de 02:20:18	-----

¹ Na área de SPD, todo mês de agosto de cada ano (2002 a 2008) era semeado o milheto para produção de palhada para o SPD da soja no mês de outubro. Antes de 2002, não era feita a safrinha e nem semeado o milheto. A área permanecia em pousio nos meses de maio a setembro, nascendo na área plantas da família das gramíneas, como o colônio (*Panicum maximum*) e a braquiária (*U. decumbens*).

As áreas eram cultivadas com girassol em SPD e milho + braquiária em ILP quando da coleta das amostras de solo para avaliação. Os sistemas de uso do solo estavam sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, diferindo apenas na sequência de culturas e adubações realizadas em cada área (Tabela 2). Dessa forma, em março de 2008, delimitou-se uma área em torno de 600 m², na qual foram abertas quatro trincheiras transversais às linhas de semeadura em cada área, para a coleta das amostras. Foram amostradas as camadas de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-80 e 80-100 cm. Foram coletadas três amostras em cada profundidade amostrada, formando uma composta, com quatro repetições por sistema avaliado. Após a coleta, as amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, sendo em seguida, transportadas para o laboratório, secas ao ar e peneiradas a 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

A abundância isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ foi determinada em alíquotas de aproximadamente 300 mg de cada amostra de TFSA (finamente moída e passada por malha de 100 mesh), com precisão de 4 casas decimais. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em cápsulas de estanho e avaliadas por meio um espectrômetro de massa isotópica de fluxo contínuo (espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus acoplado em um

auto-analisador de C e N total Carlo Erba EA 1108 – Finnigan MAT, Bremen, Alemanha). Os resultados foram expressos na forma de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ (‰), sendo o C em relação ao padrão internacional PDB e o N em relação à composição atmosférica.

Os resultados encontrados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, foi analisado como delineamento inteiramente casualizado, com três sistemas de uso do solo - tratamentos (SPD, ILP e Cerradão) com quatro repetições cada. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, foram comparados entre si pelo teste LSD-student a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às variáveis analisadas, apenas para ^{15}N nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, não foram verificadas diferenças ($p < 0,05$) entre os sistemas de manejo (Tabela 3). Os dados apresentaram distribuição normal e homogeneidade das variâncias, assim como baixos valores para CV (%) para ^{15}N e ^{13}C em todas as profundidades avaliadas (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância, teste de normalidade e homogeneidade das variâncias para as variáveis relacionadas à abundância isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ até 100 cm de profundidade.

		-----Variáveis/Profundidade-----															
FV	GL	0-10		10-20		20-30		30-40		40-50		50-60		60-80		80-100	
		¹⁵ N	¹³ C	¹⁵ N	¹³ C	¹⁵ N	¹³ C	¹⁵ N	¹³ C	¹⁵ N	¹³ C	¹⁵ N	¹³ C	¹⁵ N	¹³ C	¹⁵ N	¹³ C
		-----Quadrado médio-----															
Trat	2	0,21 ^{ns}	91,19 [*]	0,28 ^{ns}	95,31 [*]	1,06 ^{ns}	102,60 [*]	7,67 [*]	115,76 [*]	7,32 [*]	109,20 [*]	11,49 [*]	99,88 [*]	10,27 [*]	80,32 [*]	10,42 [*]	56,31 [*]
Res	6	0,25	0,69	0,35	0,55	0,54	0,26	0,68	0,71	0,38	0,34	0,47	0,41	0,28	0,35	0,73	0,70
CV (%)		7,77	4,16	8,86	3,90	8,65	2,81	8,10	1,78	6,06	3,33	6,48	3,61	5,00	3,35	8,00	4,57
Lilliefors		0,16	0,30	0,22	0,28	0,23	0,26	0,10	0,29	0,14	0,30	0,19	0,24	0,21	0,22	0,15	0,19
Cochran		0,47	0,91	0,60	0,49	0,80	0,62	0,50	0,64	0,41	0,92	0,50	0,69	0,78	0,83	0,67	0,64

FV: Fonte de variação; GL: graus de liberdade; Trat : tratamentos; Res : resíduo; Lilliefors: teste de normalidade, sendo apresentado na tabela o valor calculado para o valor tabelado de 0,31 (p=0,01), sendo valor calculado menor que tabelado, a distribuição é normal ; Cochran: Teste de homogeneidade das variâncias, sendo apresentado na tabela o valor calculado para o valor tabelado de 0,94 (p=0,01), sendo valor calculado menor que tabelado, as variâncias são homogêneas; * e ns - Significativo a 1% e não significativo pelo teste F, respectivamente. CV (%): Coeficiente de variação em porcentagem.

Abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) no perfil do solo

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) refletem a vegetação de cada área (Figura 2). A área de Cerradão apresentou os menores valores de $\delta^{13}\text{C}$, sendo verificada variação de -26,26 ‰ (0,0-10,0 cm) a -23,02 ‰ (80,0-100,0 cm). Estes resultados demonstram a predominância de plantas C_3 e são

característicos de solos sob floresta no Brasil, sendo semelhante aos trabalhos de Roscoe et al. (2000), Jantalia et al. (2007), Martinelli et al. (2009), Costa Junior et al. (2011a) em estudos desenvolvidos no Cerrado e em outros biomas como a Mata Atlântica (PINHEIRO et al. 2010) e Amazônia (ARAUJO et al., 2011).

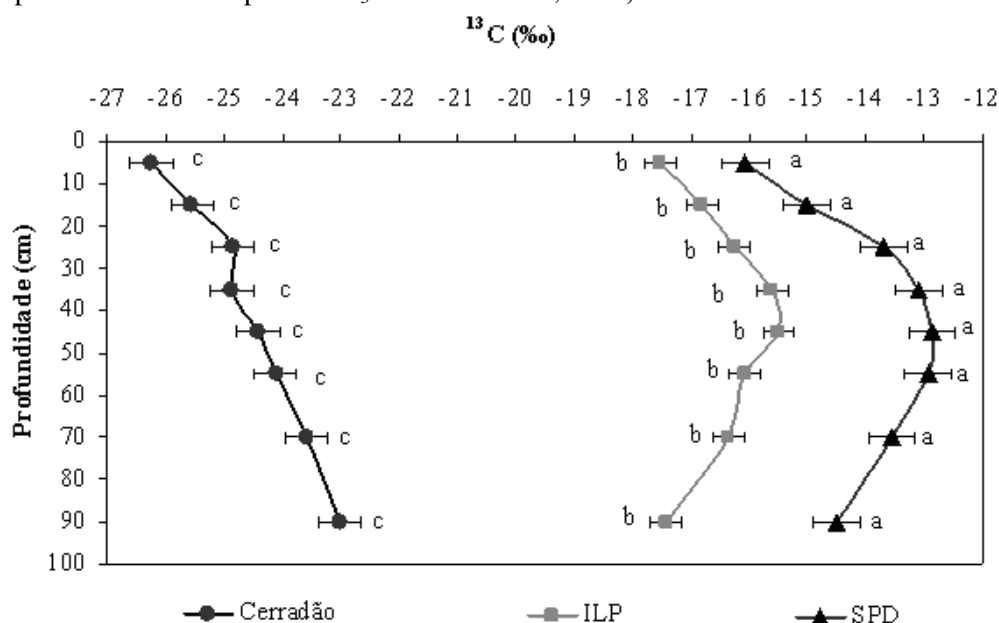


Figura 2. Composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ no solo sob os diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO. (Barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre as áreas avaliadas, em cada profundidade, pelo teste LSD-student a 5 %

Em profundidade, verificou-se enriquecimento isotópico, com uma diferença de 3,24 ‰ menos negativo, da superfície até o intervalo entre 80,0-100,0 cm. Este enriquecimento em profundidade pode ser decorrente do próprio processo de decomposição e humificação da matéria orgânica, onde ocorre a liberação em maior quantidade do ^{12}C , ficando a matéria orgânica “velha” do solo enriquecida em ^{13}C em relação à matéria orgânica recém incorporada (O'BRIEN; STOUT, 1978; VITORELLO et al. 1989; MARTIN et al. 1990). Alguns trabalhos têm relatado este padrão, com aumento de ^{13}C em profundidade correspondendo a um aumento da idade da matéria orgânica (VITORELLO et al. 1989; OLIVEIRA, 2000; JANTALIA et al., 2007).

Segundo Martinelli et al. (2009), quando a vegetação predominante é do tipo C_3 e não há indícios de mudança no tipo de vegetação em tempos remotos, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS passa por um aumento em direção as camadas mais profundas do solo. Geralmente, o aumento nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS é cerca de 3 a 4 ‰ entre a camada superficial e as camadas mais profundas. Este padrão também foi observado na área de Cerradão,

indicando que aquela vegetação sempre foi composta por plantas C_3 .

Resultados semelhantes aos valores de $\delta^{13}\text{C}$ na área de Cerradão foram verificados por Roscoe et al. (2000), avaliando a abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ no perfil de solo até 1 m em três áreas sob diferentes composições de espécies que ocupam áreas naturais de Cerrado na região de Minas Gerais. Os autores constataram que em duas destas áreas os valores observados na camada de 0,0-5,0 cm foram de -27 ‰ e na camada de 80,0-100,0cm, valores de -24 ‰.

Entre as áreas cultivadas, o padrão da distribuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ foi muito semelhante, com enriquecimento isotópico até a profundidade de 50 cm, com redução dos valores abaixo de 50 cm (Figura 2). Verificou-se a influência das plantas C_4 , com menores valores na área de ILP quando comparada com a área em SPD. Foi observado $\delta^{13}\text{C}$ variando de -16,06 a -12,85 ‰ na área de SPD e -17,53 a -15,50 ‰ na área de ILP, ambas até a profundidade de 50 cm. Em seguida, observou-se um decréscimo (menor contribuição) isotópico, com valores variando de -12,93 a -14,50 ‰ (SPD) e -16,07 a -17,43 ‰ (ILP). Comparando-se o $\delta^{13}\text{C}$ da área de Cerradão (C_3)

com o $\delta^{13}\text{C}$ das áreas cultivadas, pode-se inferir que houve incorporação de carbono novo no SPD e na ILP até 1 m de profundidade após 17 anos de cultivo. Entre as áreas cultivadas, destaca-se o SPD com maior incorporação de carbono proveniente de plantas C_4 em todas as camadas avaliadas (Figura 2).

Nas áreas de cultivos são realizadas as safras agrícolas anualmente e também a safrinha. Entretanto, na área de SPD nem sempre foi feita a safrinha, ou seja, esta vem sendo feita somente nos últimos cinco anos. Nesta área, após o cultivo da soja, a área permanecia em pousio, nascendo na área plantas da família das gramíneas, como o colônio (*Panicum maximum*) e a braquiária (*U. decumbens*), ambas C_4 . Além disso, tem-se o efeito do milho (C_4) semeado em agosto para o plantio da soja em outubro (Tabela 2). Por esta razão, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) são maiores na área de SPD quando comparados com a área de ILP.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das áreas em SPD e ILP foram significativamente maiores que os verificados na área de Cerradão (Figura 2). Este resultado indica que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados refletem a vegetação instalada, principalmente o uso de plantas de ciclo fotossintético C_4 . Resultados diferentes destes foram encontrados por Jantalia et al. (2007), avaliando a influência de diferentes sistemas de uso e manejo do solo envolvendo pastagens e sistemas de produção de grãos, com 12 anos de implantação sob Latossolo Vermelho em Planaltina, Distrito Federal, DF. Os autores observaram que os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ no perfil de solo em profundidade sob todos os tratamentos agrícolas, não

apresentaram diferenças significativas em relação ao Cerrado, o que sugere que os perfis de solo avaliados sob esta vegetação representaram a composição de $\delta^{13}\text{C}$ anterior a instalação do experimento.

Em relação aos estoques de carbono de 0-100 cm das áreas avaliadas, Loss et al. (2012) verificaram maiores estoques para a área de Cerradão (192,22 Mg ha^{-1}), seguida da área de ILP (185,66 Mg ha^{-1}) e SPD (174,78 Mg ha^{-1}). Estes resultados corroboram os valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados na área de Cerradão, demonstrando que realmente não houve mudança de vegetação, pois no Cerradão tem-se os maiores estoques de C. Entre as áreas cultivadas, os menores estoques de C em relação ao Cerradão, confirmam a mudança de vegetação (C_3 para C_4), sendo as diferenças encontradas entre ILP e SPD para os estoques de carbono, relacionadas ao aporte de material vegetal (11300 e 7800 kg ha^{-1} , respectivamente para braquiária e milho), associado às rotações de culturas e as adubações utilizadas, principalmente nitrogenada (Tabela 2).

Abundância natural de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) no perfil do solo

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ apresentaram um enriquecimento isotópico de acordo com o aumento da profundidade, sendo este padrão mais pronunciado nas áreas cultivadas (Figura 3). Na área de Cerradão, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ variaram de 6,10 a 8,52‰; no sistema de ILP verificaram-se valores entre 6,62 a 11,66‰ e, no SPD, valores entre 6,44 e 11,82‰.

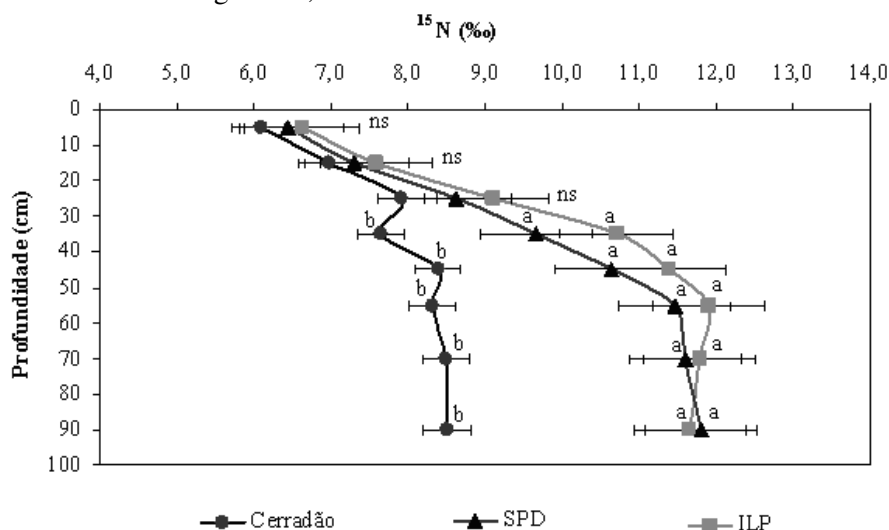


Figura 3. Variação dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) no solo sob os diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO. (Barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre as áreas avaliadas, em cada profundidade, pelo teste LSD-student a 5%

O enriquecimento dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ em profundidade pode ser atribuído a constante adição da matéria orgânica das plantas nas camadas superficiais do solo e, também, estar relacionado às transformações de N-orgânico para N-mineral. Dessa forma, na medida em que as reações de mineralização, nitrificação, denitrificação e volatilização ocorrem associadas às assimilações de N pelas plantas, tem-se maior decomposição do isótopo mais leve de N (^{14}N), deixando a matéria orgânica restante enriquecida em átomos de ^{15}N (HOGBERG, 1997; BUSTAMANTE et al. 2004).

Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Costa Junior et al. (2011b), avaliando a abundância natural de $\delta^{15}\text{N}$ em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano. Os autores verificaram que as áreas de Cerradão, SPD, sistema de preparo convencional e pastagem apresentaram enriquecimento isotópico de acordo com o aumento da profundidade (0,0-20 cm).

Em estudos de identificação de mudanças florestais utilizando-se técnicas isotópicas com $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em solos da Chapada do Araripe, CE, Mendonça et al. (2010) observaram que os menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ estavam associados à maior quantidade de MOS, tendo sido encontrados no solo de Cerradão, já para a área da Caatinga onde foram verificados os menores valores de C orgânico, encontraram-se os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, o que é um indício da decomposição da matéria orgânica. Esses dados corroboram os encontrados nesse estudo, onde os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ foram verificados na área de Cerradão e coincidem com maiores teores de C (MOS) e N em profundidade (192,22 e 14,25 Mg ha^{-1} de C e N, respectivamente, segundo LOSS et al., 2012). Já para as áreas cultivadas foi observado um padrão inverso, com menores teores de C e N (185,66 e 9,92 Mg ha^{-1} de C e N para ILP e 174,78 e 10,02 Mg ha^{-1} de C e N para SPD, segundo LOSS et al., 2012) e maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, quando comparados ao Cerradão.

A menor abundância natural de $\delta^{15}\text{N}$ na camada superficial do solo (0,0-10,0 cm), nas três áreas, pode ter decorrido da contribuição de N das chuvas (BAPTISTA et al. 2009) e do N derivado da decomposição da palhada (áreas em SPD e ILP) e serapilheira (Cerradão), acarretando em maiores proporções do isótopo mais leve de N (^{14}N) em superfície, com consequente diminuição do valor de $\delta^{15}\text{N}$ dessa camada comparada às demais (LEDGARD et al. 1984; PICCOLO et al. 1996). Além disso, nas áreas cultivadas a adubação nitrogenada pode ter contribuído para a redução dos

valores de $\delta^{15}\text{N}$ nas camadas superficiais (Tabela 2).

Nas camadas de 0,0-10,0; 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, as áreas não apresentaram diferenças entre si. Esses resultados indicam que no Cerrado há presença de plantas leguminosas (BUSTAMANTE et al. 2004) e o uso da adubação nitrogenada nas rotações da ILP e SPD associadas a FBN pode estar propiciando um balanço de N (assimilação pelas culturas x FBN), acarretando em menor decomposição das formas de N mais leves (^{14}N) e, assim tem-se menores valores de ^{15}N , sendo estes iguais ao da área de Cerradão, condição original do solo.

Em profundidade (40-100 cm) há acréscimo da proporção de formas inorgânicas de N em relação à orgânica. Nesse caso, a reserva (*pool*) orgânica "reage" mais às reações de transformação e torna-se isotopicamente mais pesado (com menores proporções de seu isótopo ^{14}N), ou seja, enriquecido em átomos de ^{15}N (Martinelli et al. 2009). Este padrão explica os maiores valores de ^{15}N encontrados nas áreas cultivadas quando comparados com a área de Cerradão em profundidade. Na condição original do solo tem-se uma maior estabilidade do sistema quando comparado com as áreas cultivadas, ocorrendo nas áreas cultivadas maiores taxas de nitrificação, com maior decomposição do isótopo mais estável (^{14}N) e consequentemente, maiores valores de ^{15}N .

Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Costa Junior et al. (2011b), avaliando a abundância natural de $\delta^{15}\text{N}$ em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado goiano. Os autores verificaram que mesmo cultivando soja regularmente em rotação de culturas, associadas com a de fertilização nitrogenada para a cultura sucessora (milho ou sorgo), não foram verificadas influências representativas nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre os sistemas de uso do solo na camada superficial, com valores variando de 4,30 a 6,30‰. Em profundidade, os autores observaram, também, um enriquecimento isotópico para todas as áreas, sendo maior para as áreas cultivadas (SPD e SPC) e pastagem quando comparado com a área de Cerradão.

CONCLUSÕES

A substituição da vegetação original de Cerradão para implantação de SPD e ILP acarretou mudanças no sinal $\delta^{13}\text{C}$, ou seja, após 17 anos de cultivo, a incorporação de C das gramíneas nas áreas proporcionou um aumento do sinal de $\delta^{13}\text{C}$.

A análise isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ indicou maior mineralização da MOS com o aumento da profundidade do solo e com maiores taxas nas áreas cultivadas.

Por meio da análise isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foi possível evidenciar diferenças entre as áreas cultivadas e a área de Cerrado.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Agrisus pelo custeio do projeto de pesquisa, ao CNPq e à FAPERJ pela concessão de bolsa de Doutorado ao primeiro autor, ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo (CPGA-CS) pelo auxílio prestado e ao Dr. Adriano Perin e colaboradores pelo auxílio na coleta das amostras de solo para a realização deste estudo.

ABSTRACT: Different land use systems and soil management modify the isotopic signal of soil $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. The objective of this study was to evaluate the natural abundance the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in the soil profile in areas with different land use systems in the Cerrado of Goiás State, Brazil. We evaluated two systems with crop rotation: crop-livestock integration - CLI (corn + brachiaria/beans/cotton/soybean) and no-tillage system - NTS (sunflower/millet/soybean/corn). An area of natural Cerrado (Cerradão) was taken as the original condition of the soil. Soil samples were collected in layers of 0.0 to 10.0, 10.0 to 20.0, 20.0 to 30.0, 30.0 to 40.0, 40.0 to 50.0, 50.0 to 60.0, 60.0 to 80.0 and 80.0 to 100.0 cm, and the measured the $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of the soil by mass spectrometer. Regarding $\delta^{13}\text{C}$, it was found predominantly in the C_3 plant Cerrado influence plant and C_4 in the areas of NTS and CLI. The values presented $\delta^{15}\text{N}$ an isotopic enrichment according to the increase in depth, with higher values of $\delta^{15}\text{N}$ observed in cultivated areas. The replacement of the original vegetation of Cerrado for implantation of NTS and CLI led to changes in $\delta^{13}\text{C}$, i.e., after 17 years of cultivation, the incorporation of carbon from grasses in these areas resulted in an increase in $\delta^{13}\text{C}$ signal.. Isotopic analysis of $\delta^{15}\text{N}$ indicated greater mineralization of soil organic matter with increasing soil depth and with higher rates in cultivated areas.

KEYWORDS: Isotopic composition. No-tillage system. Crop-livestock integrated system. Soil organic matter.

REFERENCIAS

- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 41, n. 1, p. 103-114. 2011.
- ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R. L. (Eds). **Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, Embrapa-SCT. p. 343-350. 2005.
- ANGHINON, I.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; SOUZA, E. D.; CONTE, O.; LANG, C. R. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: FONSECA, A. F.; CAÍRES, E. F.; BARTH, G. (Eds). **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto**. AEACG/Inpag: Ponta Grossa. p. 1-31. 2011.
- BALBINOT-JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1925-1933. 2009.
- BAPTISTA, R. B.; LEITE, J. M.; MORAES, R. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. Variação da abundância natural de ^{15}N no perfil do solo e seu efeito na estimativa da contribuição da fixação biológica de N_2 em variedades de cana-de-açúcar. In: **XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009**, Fortaleza, CE. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Fortaleza, UFC-SBCS. CD-ROM. 2009.
- BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; SIQUEIRA NETO, M.; METAY, A.; PERRIN, A.; SCOPEL, E.; BLAVET, D.; PICCOLO, M. C. Influence du semis direct avec couverture végétale sur la séquestration du carbone et érosion au Brésil. In: ROOSE, E.; DE NONI, G.; PRAT C.; GANRY, F.;

- BOURGEON, G. (Eds.). **Gestion de la biomasse, érosion et séquestration du carbone**. Bulletin Du Réseau Erosion, v. 23, p. 323-337. 2004.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A. DOMINGUES TF, SANTOS RV. ^{15}N natural abundance in woody plants and soils of central brazilian savannas (cerrado). **Ecological Applications**, Nova York, v. 14, n. 4, p. 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 Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 342-349. 2009.
- CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, R. M.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; TERRA, M. L.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; LIMA, W. E. S. P. C.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 259-270. 2010a.
- CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 175-186. 2010b.
- COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P. B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e ^{13}C em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1241-1252. 2011a.
- COSTA JUNIOR, C.; SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; CAMARGO, P. B. Nitrogênio e abundância natural de ^{15}N em agregados do solo sob diferentes usos da terra no Bioma Cerrado. **Ensaios e Ciência**, Anhanguera, v. 15, n. 2, p. 47-66. 2011b.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FERREIRA, E. V. O.; ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI, M. H.; MARTINS, A. P.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 161-169. 2011.
- HÖGBERG, P. ^{15}N natural abundance in soil-plant systems. **New Phytologist**, Sweden, v. 137, n. 95, p. 179-203. 1997.
- JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 97-109. 2007.
- LEDGARD, S. F.; FRENEY, J. R.; SIMPSON, J. R. Variations in natural enrichment of ^{15}N in the profiles of some Australian Pasture Soils. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 22, n. 2, p. 155-64. 1984.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; GIACOMO, S. G.; PERIN, A. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 658-767. 2011.
- 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. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 4, n. 8, p. 96-105, 2012.

- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 1-10. 2013.
- MARCHAO, R.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop livestock management systems. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 442-450. 2009.
- MARTIN, A.; MARIOTTI, A.; BALESSENT, J.; LAVELLE, P.; VUATToux, R. Estimate of organic matter turnover rate in a savanna soil by ^{13}C natural abundance measurements. **Soil Biology and Biochemistry**, Wageningen, v. 22, n. 4, p. 517-523. 1990.
- 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**. 1ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos. 143 p. 1990.2009.
- MARTINS, M. R.; CORA, J. E.; JORGE, R. F.; MARCELO, A. V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 22-29. 2009.
- 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}C e ^{15}N dos solos da Chapada do Araripe/Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 314-319. 2010.
- OLIVEIRA, O. C. **Parâmetros químicos e biológicos relacionados com a degradação de pastagens de *Brachiaria* spp. no Cerrado Brasileiro**. 2000. 120f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo) .Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2000.
- PACHECO, A. R.; CHAVES, R. Q.; NICOLI, C. M. L. **Integration of crops, livestock, and forestry: A system of production for the Brazilian Cerrados**. In.: Kenneth, G. C. (Ed). *Eco-Efficiency: From Vision to Reality*. 11p. 2012.
- PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Granulometric and humic fractions carbon stocks of soil organic matter under no-tillage system in Uberaba, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida, v. 15, n. 1, p. 1-13. 2012.
- PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C.; STEUDLER, P. A. ^{15}N natural abundance in forest and pasture soil of the Brazilian Amazon basin. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 182, n. 2, p. 249-258. 1996.
- PINHEIRO, E. F. M.; LIMA, E.; CEDDIA, M. B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 333, n. 1-2, p. 71-80. 2010.
- O'BRIEN, B. J.; STOUT, J. D. Movement and turnover of soil organic matter as indicated by carbon isotope measurements. **Soil Biology and Biochemistry**, Wageningen, v. 10, n. 4, p. 309- 317. 1978.
- ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.; PEREIRA, J. A. A. Effects of fire on soil organic matter in a Cerrado sensu-stricto from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}\text{C}$. **Geoderma**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, 141-160. 2000.
- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58. 2004.

SMITH, B. N.; EPSTEIN, S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 47, n. 3, p. 380-384. 1971.

VITORELLO, V. A.; CERRI, C. C.; ANDERSON, F.; FELLER, C.; VICTORIA, R. L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 53, n. 3, p. 773-778. 1989.