

Carbono, Nitrogênio, Abundância Natural de $\Delta^{13}\text{C}$ e $\Delta^{15}\text{N}$ do Solo sob Sistemas Agroflorestais

Wanderson Henrique Couto¹, Lúcia Helena Cunha dos Anjos²,
Marcos Gervasio Pereira², Roni Fernandes Guareschi³, Shirlei Almeida Assunção²,
Paulo Guilherme Salvador Wadt⁴

¹Departamento de Financiamento e Proteção da Produção – DFP, Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA, Brasília/DF, Brasil

²Departamento de Solos, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica/RJ, Brasil

³Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica/RJ, Brasil

⁴Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Porto Velho/RO, Brasil

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar alterações nos teores de C e N e abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de um Cambissolo Háplico Tb distrófico em uma área com sistema agroflorestal (SAF). Em cada área de estudo foram coletadas amostras de solo, em 8 profundidades de 0,0–1,0 m. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas 2×8 (2 áreas florestais e 8 profundidades), com três repetições. Com exceção da camada superficial do solo (0,0–0,10), a área de SAF está preservando os teores de C e aumentando os teores de N (0,2–1,0) em relação à mata nativa. Ambas as áreas avaliadas apresentaram sinais de abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ referente a plantas do ciclo fotossintético C3, e a área de mata nativa apresentou nas camadas superficiais (0,0–0,20) maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, demonstrando maior decomposição da matéria orgânica.

Palavras-chave: reflorestamento, matéria orgânica do solo, Cambissolo.

Carbon, Nitrogen, and Natural Abundance Of $\Delta^{13}\text{C}$ and $\Delta^{15}\text{N}$ of Soils Under Agroforestry Systems

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate changes in C and N levels and in the natural abundance of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of a Inceptisol in an agroforestry system (AFS). Soil samples were collected from eight depth levels from 0.0–1.0 m in each studied area. The experiment was carried out in a completely randomized 2×8 (2 forest areas and 8 depths) split-plot design with three replications. Except for the topsoil (0.0–0.10), the area of this AFS has preserved content of C and increased level of N (0.2–1.0) compared to the Forest. Both areas showed signs of natural abundance of $\delta^{13}\text{C}$ in plants with C3 photosynthetic pathway, and the forest area presented higher values of $\delta^{15}\text{N}$ in the superficial layers (0.0–0.20), indicating greater decomposition of organic matter.

Keywords: reforestation, soil organic matter, Inceptisol.

1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia, os setores da pecuária, agricultura e florestal são os principais responsáveis pelo desmatamento e degradação do solo, seja por criar novas áreas para pecuária e agricultura, seja pelas queimadas e exploração madeireira (Barreto et al., 2006; Pereira, 2012).

Diante desse cenário, o uso de sistemas agroflorestais (SAFs) torna-se uma alternativa sustentável e adequada às características edafoclimáticas da Amazônia, pois apresenta a possibilidade de auxiliar na redução do desmatamento, uma vez que rompe com o ciclo da agricultura migratória tão comum na região, a qual, em função de períodos de pousio muito curtos para a recuperação dos solos, aumenta a pressão sobre as áreas de floresta primária (Smith et al., 1998; Ayres & Alfaia, 2007; Brienza et al., 2009). O interesse nos SAFs para a Amazônia está além da utilização desses sistemas para uso da terra, na mudança de seu uso para o combate ao desmatamento e à degradação já existentes (Pereira, 2012). Os SAFs apresentam uma série de funções, dentre as quais destaca-se o aumento dos estoques de carbono em suas culturas, com a mitigação das emissões de carbono para a atmosfera, concomitante com interações econômicas e ambientais (Pereira, 2012).

A presença de componentes florestais arbóreos nos SAFs adicionados a uma grande biodiversidade de espécies propicia a deposição contínua de resíduos vegetais durante o ano e/ou altera a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), o que facilita a manutenção e/ou aumento da MOS (Oelbermann et al., 2006; Smiley & Kroschel, 2008; Iwata et al., 2012; Santiago et al., 2013), afetando diretamente os atributos físicos (Saha et al., 2001), químicos e biológicos do solo (Delabie et al., 2007; Huerta et al., 2007; Norgrove et al., 2009).

Devido aos benefícios listados anteriormente, alguns trabalhos na literatura apontam que os SAFs mantiveram ou apresentam maiores teores de C e N quando comparados às florestas e/ou vegetações nativas adjacentes, principalmente nas camadas superficiais do solo (Lima et al., 2011; Iwata et al., 2012; Matos et al., 2012; Pizarico et al., 2013; Santiago et al., 2013). Já outros trabalhos demonstram que a conversão da cobertura vegetal original (floresta amazônica) para os SAFs causou declínio principalmente nos teores de MOS (Collier & Araújo, 2010; Silva et al., 2012).

Pode-se inferir que tais resultados contraditórios podem ser oriundos da avaliação de SAFs com diferentes espécies vegetais, manejo, tempos de implantação e condições edafoclimáticas, fatores estes que interferem na dinâmica da MOS. Diante disso, evidencia-se a necessidade de estudos em áreas com SAFs de longa duração, para quantificar-se a real interferência deste sistema na dinâmica da MOS.

Outro fator muito importante a ser avaliado nos SAFs é que atualmente existem poucos resultados na literatura relacionados à abundância natural do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. 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., 2012). Dessa forma, as determinações isotópicas da abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS vêm sendo utilizadas como um bom indicador do tipo de vegetação existente e das modificações a que uma área foi submetida no passado (Salimon et al., 2007; Piccolo et al., 2008; Coutinho et al., 2010; Loss et al., 2011; Loss et al., 2014).

No que diz respeito 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}N), deixando a matéria orgânica restante enriquecida em átomos de ^{15}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 um indício da decomposição da matéria orgânica.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar alterações nos teores de C e N e abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de um Cambissolo Háplico Tb distrófico de uma Floresta Tropical Subperenifolia (Mata) e uma área com sistema agroflorestal (SAF) de 20 anos de implantação, no município de Porto Velho (RO).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo, denominada Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado (RECA), está localizada no distrito de Nova Califórnia, no extremo

oeste do município de Porto Velho, no km 160 da rodovia BR 364, que liga as capitais Porto Velho (RO) e Rio Branco (AC). A microrregião é conhecida como Ponta do Abunã. O clima da região é do tipo Am pela classificação de Köppen, que corresponde a tropical monçônico, com média da temperatura do ar durante o mês mais frio superior a 18 °C (megatérmico) e período seco bem definido no inverno, quando ocorre moderado déficit hídrico, com índices pluviométricos inferiores a 50 mm por mês. A média anual da precipitação varia entre 2.200 e 2.300 mm por ano.

Neste estudo foram selecionadas duas áreas que integram o RECA, um SAF e uma área de mata nativa adjacente. O SAF é composto das espécies vegetais, Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), Pupunha (*Bactris gasipaes*) e Castanheira (*Bertholletia excelsa*), tendo eventualmente outras espécies (que nesse caso foram classificadas como essências florestais). Tais áreas foram implantadas com espaçamento de 7 x 4 m, entre os anos de 1989 e 1992. A outra área analisada foi classificada como Floresta Tropical Subperenifólia (Mata) (Martins & Cavararo, 2012). Esta área foi utilizada neste estudo como controle e parâmetro de comparação do estágio original da paisagem local. Ambas unidades de paisagem estão

sob solos classificados como Cambissolo Háplico Tb distrófico (EMBRAPA, 2006).

Em cada área de estudo foi demarcada uma gleba representativa de 0,04 ha (20 x 20 m), e em cada uma delas foram abertas três trincheiras de aproximadamente 1 x 1 m de superfície e 1 m de profundidade em posição aleatória. 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 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50; 0,50-0,60; 0,60-0,80 e 0,80-1,0 m. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), na qual foi realizada a maioria das análises, inclusive a caracterização química e análise granulométrica (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas 2 x 8 (2 áreas florestais e 8 profundidades), com três repetições.

Os teores de C e N foram quantificados por meio de combustão seca por analisador CHNS (Elementar analysensysteme GmbH, Hanau, Alemanha). A abundância natural do ^{13}C e ^{15}N foi determinada com

Tabela 1. Atributos químicos e análise granulométrica nas diferentes camadas do perfil de um Cambissolo Háplico das áreas de mata nativa e SAF.

Table 1. Attributes chemical and particle size analysis in the different layers of the profile of a Inceptisol areas of forest and SAF.

Camadas (m)	pH H ₂ O	P mg kg ⁻¹	Ca	Mg	K	Al	S	T	V	Argila	Silte	Areia
			----- cmol _c kg ⁻¹ -----						--%--	----- g kg ⁻¹ -----		
Mata Nativa												
0,0-0,10	4,31	0,55	0,4	2,1	0,11	1,73	2,61	7,27	35,90	510	190	300
0,10-0,20	4,30	0,55	0,2	1,2	0,11	2,50	1,51	6,67	22,64	580	230	190
0,20-0,30	4,51	0,50	0,0	1,2	0,10	2,47	1,30	6,61	19,67	480	190	330
0,30-0,40	4,53	0,30	0,0	1,2	0,09	2,94	1,29	5,90	21,86	700	150	150
0,40-0,50	4,92	0,30	0,0	1,6	0,09	2,57	1,69	6,48	26,08	690	170	140
0,50-0,60	4,99	0,20	0,0	1,2	0,09	2,55	1,29	5,65	22,83	660	150	190
0,60-0,80	5,02	0,10	0,0	1,5	0,09	2,65	1,59	6,06	26,24	720	170	110
0,80-1,0	4,93	0,10	0,0	1,8	0,09	2,90	1,89	6,43	29,39	500	270	230
SAF												
0,0-0,10	3,78	0,80	0,25	1,89	0,12	1,50	2,26	13,23	17,08	350	130	520
0,10-0,20	4,46	0,70	0,00	1,58	0,10	1,64	1,68	9,62	17,46	440	110	450
0,20-0,30	4,13	0,50	0,00	1,38	0,09	1,70	1,47	8,22	17,88	480	120	400
0,30-0,40	4,09	0,30	0,00	1,43	0,09	1,90	1,52	8,29	18,34	530	110	360
0,40-0,50	4,43	0,30	0,00	1,09	0,09	1,78	1,18	8,22	14,36	610	80	310
0,50-0,60	4,48	0,20	0,00	0,91	0,09	2,30	1,00	7,86	12,72	630	50	320
0,60-0,80	4,76	0,10	0,00	1,21	0,09	2,10	1,30	8,16	15,93	570	50	380
0,80-1,0	4,49	0,10	0,00	4,72	0,09	1,95	4,81	11,19	42,98	560	50	390

o auxílio do espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus, no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA-USP, em Piracicaba-SP. Os resultados de ^{13}C , oriundos de 3 repetições, foram expressos na forma de delta $\delta^{13}\text{C}$ (‰), em relação ao padrão internacional PDB (Belemnite Americana da formação Pee Dee). Já os resultados de ^{15}N foram expressos na forma de delta $\delta^{15}\text{N}$ (‰), em relação ao padrão $\delta^{15}\text{N}$ do ar (0,3663%).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de normalidade da distribuição dos erros (teste de Lilliefors) e homogeneidade das variâncias dos erros (teste de Cochran). Atendendo às pressuposições de normalidade e homogeneidade, os valores médios foram comparados por meio do teste t de Bonferroni a 5% de probabilidade ($P < 0,05$), utilizando o programa estatístico ASSISTAT.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na camada mais superficial (0,0-0,10 m), a área de mata nativa apresentou maior teor de C em comparação à área de SAF (Figura 1). Os maiores teores de C são decorrentes do maior e constante aporte de resíduos vegetais na superfície do solo durante o ano. Esse aporte constante pode ter favorecido o aumento dos teores de C e em formas mais estáveis. Resultados semelhantes

foram encontrados por Silva et al. (2012) e Pezarico et al. (2013), que ao avaliarem áreas de SAF, também constataram redução no teor de C na camada superficial do solo quando comparada à vegetação referência (mata nativa). É interessante verificar que nas demais profundidades avaliadas (0,10-1,0 m) o SAF manteve valores de C semelhantes ao da mata nativa (Figura 1), ou seja, isso significa que o aporte de resíduos orgânicos via sistema radicular de diferentes espécies vegetais cultivadas no SAF está preservando o C do solo destas áreas.

Verifica-se também que, independente da área avaliada, está ocorrendo uma redução no teor de C em profundidade (Figura 1). A redução do teor de C em profundidade é comum, visto que ocorre um menor aporte de resíduos orgânicos nas camadas mais profundas em comparação às camadas superiores. Vários trabalhos na literatura, ao avaliarem áreas de SAF e florestas nativas, também constataram este comportamento (Iwata et al., 2012; Silva et al., 2012; Pezarico et al., 2013).

Até os 0,2 m de profundidade do solo não se constataram diferenças no teor de N entre as áreas avaliadas; no entanto, nas profundidades de 0,2-1,0 m a área de SAF apresentou maiores teores de N em comparação à área de mata nativa (Figura 2).

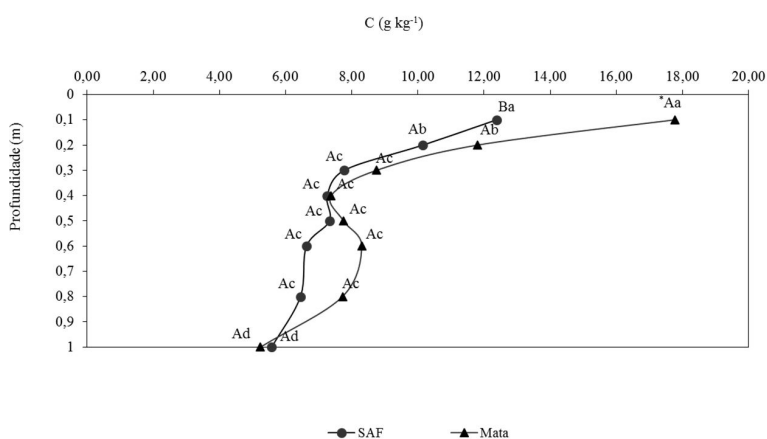


Figura 1. Teores de carbono (C) em diferentes camadas do perfil de um Cambissolo Háplico nas áreas de mata nativa e SAF. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5%. Letras maiúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e minúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento.

Figure 1. Levels of carbon (C) in different layers of a Inceptisol profile in the areas of forest and SAF. Means followed by the same letter do not differ statistically by Student's t test at 5%. Capital letters refer to the comparison of the areas in the same layer and lower layers comparing averages of the same treatment.

Tais resultados reforçam a o padrão observado para o C, ou seja, demonstram que o SAF pode estar adicionando em profundidade resíduos orgânicos de diferentes qualidades (relação C/N) via sistema radicular, que está aumentando o teor de N e conservando o teor de C em relação à mata, enquanto na área de mata nativa tem-se uma MOS mais estável, com menor liberação de N em profundidade. Padrão similar foi observado por Iwata et al. (2012), que também constataram em profundidade (0,2-0,4 m) um maior teor de N de áreas de SAF em comparação a uma área de floresta nativa. Assim como ocorre com C, o N independente da área avaliada, os teores de N também reduziram-se em profundidade (Figura 2).

Quanto aos resultados da abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ (‰), verifica-se que ambas as áreas avaliadas apresentaram, independentemente da profundidade, a contribuição de C de espécies do ciclo fotossintético C3 (Figura 3). Tal resultado é coerente, visto que ambas as áreas apresentam espécies arbóreas do ciclo C3, as quais discriminam mais intensamente o ^{13}C e apresentam variações na abundância isotópica de ^{13}C de -20 a -34 ‰ (Urquiaga et al., 2006). Os resultados da abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) são similares aos encontrados por Nardoto (2005), nos quais os valores para os solos sob a floresta amazônica

variaram entre -28,4 e -26,0‰, com um progressivo enriquecimento ao longo do perfil. Este enriquecimento ao longo do perfil, também observado neste estudo, ocorre porque quanto mais profundo o solo, mais velho e processado pelos microorganismos é o C. Destaca-se também um pequeno aumento da abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ da área de SAF para a mata nativa na camada de 0,0-0,20 m (Figura 3), que pode ser oriundo da introdução de diferentes espécies vegetais da área de SAF em relação à mata nativa e/ou devido ao efeito de algum fracionamento durante a decomposição da matéria orgânica.

Até a camada de 0,0-0,20 m, a área de mata nativa apresentou maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ em comparação à área de SAF, enquanto nas demais profundidades ambas as áreas apresentaram valores semelhantes entre si (Figura 4).

Os resultados indicam que na área de Mata está ocorrendo maior decomposição da MOS em comparação à área de SAF, que pode estar sendo desencadeado por maior oferta de C (Figura 1) e atividade microbiana da área de Mata. Tais resultados também explicam o maior estoque de N (EstN) da área de mata nativa ($2,75 \text{ Mg ha}^{-1}$ - 0,0-0,10 m e $2,35 \text{ Mg ha}^{-1}$ - 0,10-0,20 m) em relação ao SAF ($2,33 \text{ Mg ha}^{-1}$ - 0,0-0,10 m e

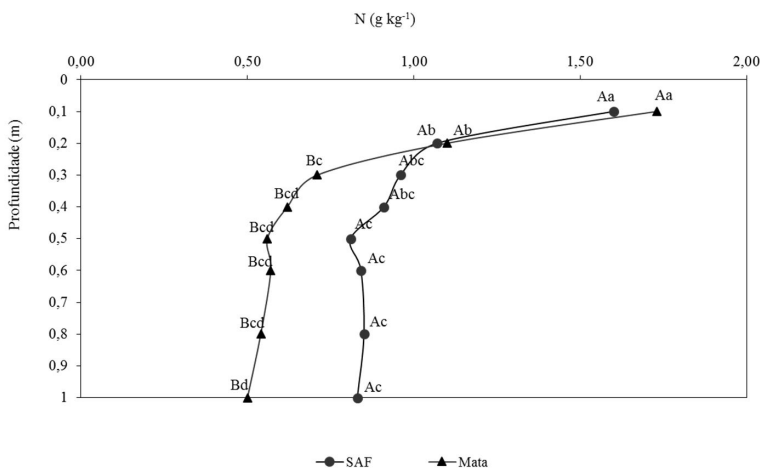


Figura 2. Teores de nitrogênio (N) em diferentes camadas do perfil de um Cambissolo Háplico nas áreas de mata nativa e SAF. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5%. Letras maiúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e minúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento.

Figure 2. Levels of nitrogen (N) in different layers of a Inceptisol profile in the areas of forest and SAF. Means followed by the same letter do not differ statistically by Student's t test at 5%. Capital letters refer to the comparison of the areas in the same layer and lower layers comparing averages of the same treatment.

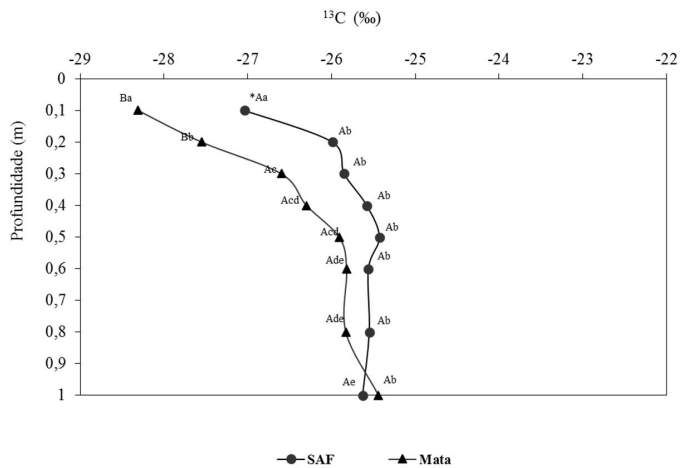


Figura 3. Abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) em diferentes camadas do perfil de um Cambissolo Háplico nas áreas de mata nativa e SAF. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5%. Letras maiúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e minúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento.

Figure 3. Abundance of natural $\delta^{13}\text{C}$ (‰) in different layers of a Inceptisol profile in the areas of forest and SAF. Means followed by the same letter do not differ statistically by Student's t test at 5%. Capital letters refer to the comparison of the areas in the same layer and lower layers comparing averages of the same treatment.

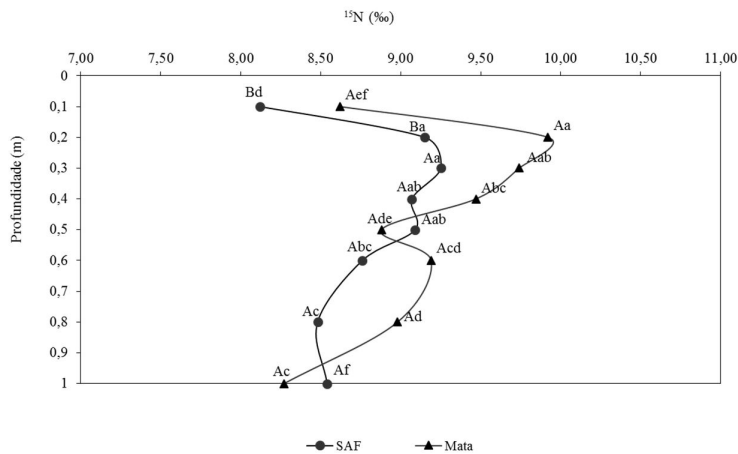


Figura 4. Abundância natural de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) em diferentes camadas do perfil de um Cambissolo Háplico nas áreas de mata nativa e SAF. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5%. Letras maiúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e minúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento.

Figure 4. Natural abundance of $\delta^{15}\text{N}$ (‰) in different layers of a Inceptisol profile in the areas of forest and SAF. Means followed by the same letter do not differ statistically by Student's t test at 5%. Capital letters refer to the comparison of the areas in the same layer and lower layers comparing averages of the same treatment.

1,56 Mg ha⁻¹ – 0,10-0,20 m) nessas profundidades. De maneira similar, Pezarico et al. (2013) afirmam que solos sob condições naturais resultam em maior presença serapilheira e de raízes, ocasionando aumento de compostos com carbono e promovendo a diversidade de espécies e favorecendo o desenvolvimento microbiano.

4. CONCLUSÕES

Com exceção à camada superficial do solo (0,0-0,10), a área de SAF está preservando os teores de C e aumentando os teores de N (0,2-1,0) em comparação à área de Mata.

Ambas as áreas avaliadas apresentaram sinais de abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ referente a plantas do ciclo fotossintético C3, e a área de mata nativa apresentou nas camadas superficiais (0,0-0,20) maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, demonstrando maior decomposição da MOS.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CPGA-CS, à EMBRAPA Acre, à CAPES e ao CNPq.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 23 out., 2014

Aceito: 1 out., 2016

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Marcos Gervasio Pereira

Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Zona Rural, Rodovia BR 465, Km 7, s/n, CEP 23897-900, Seropédica, RJ, Brasil
e-mail: mgervasiopereira01@gmail.com

REFERÊNCIAS

- Alves BJR, Oliveira OC, Boddey RM, Urquiaga S. Abundância natural do ^{13}C . In: Santos GA, Silva LS, Canellas LP, Camargo FAO. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole; 2008. 654 p.
- Ayres MIC, Alfaia SS. Calagem e adubação potássica na produção do cupuaçuzeiro em sistemas agroflorestais da Amazônia Ocidental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2007; 42(7): 957-963. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000700007>.
- Barreto P, Souza C Jr, Noguérón R, Anderson A, Salomão R. *Human Pressure on the Brazilian Amazon Forests*. Belém: Imazon; 2006. 84 p.
- Brienza S Jr, Maneschy RQ, Mourão M Jr, Gazel AB Fo, Yared JAG, Gonçalves D et al. Sistemas agroflorestais na amazônia brasileira: análise de 25 anos de pesquisas. *Pesquisa Florestal Brasileira* 2009; 60(1): 67-76.
- Bustamante MMC, Martinelli LA, Silva DA, Camargo PB, Klink CA, Domingues TF et al. ^{15}N natural abundance in woody plants and soils of central Brazil savannas (cerrado). *Ecological Applications* 2004; 14(1): 200-213. <http://dx.doi.org/10.1890/01-6013>.
- Collier LS, Araújo GP. Fertilidade do solo sob sistemas de produção de subsistência, agrofloresta e vegetação remanescente em Esperantina – Tocantins. *Floresta e Ambiente* 2010; 17(1): 12-22. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.005>.
- Coutinho RP, Urquiaga S, Boddey RM, Alves BJR, Torres AQA, Jantalia CP. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N_2O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2010; 45(2): 195-203. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000200011>.
- Delabie JHC, Jahyny B, Nascimento IC, Mariano SF, Lacau S, Campiolo S. Contribution of cocoa plantations to the conservation of native ants (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic forest fauna of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 2007; 16(1): 2359-2384. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-007-9190-6>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA; 1997; 212 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA; 2006.
- Guareschi RF, Pereira MG, 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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2012; 36(3): 909-920. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300021>.
- Huerta E, Rodriguez-Olan J, Evia-Castillo I, Montejo-Meneses E, Cruz-Mondragon M, Garcia-Hernandez R et al. Earthworms and soil properties in Tabasco Mexico. *European Journal of Soil Biology* 2007; 43(1): 190-195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.024>.
- Iwata BF, Leite LFC, Araújo ASF, Nunes LAPL, Gehring C, Campos LP. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2012; 16(7): 730-738. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000700005>.
- Lima SS, Leite LFC, Oliveira FCO, Costa DB. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. *Revista Árvore* 2011; 35(1): 51-60. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000100006>.
- Loss A, Pereira MG, Giacomo SG, Perin A, Anjos LHC. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2011; 46(10): 1269-1276. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>.
- Loss A, Pereira MG, Perin A, Anjos LHC. Abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em sistemas de manejo conservacionista no cerrado. *Bioscience Journal* 2014; 30(3): 604-615.

- Martins L, Cavararo R. *Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos*. Rio de Janeiro: IBGE; 2012.
- Matos FO, Castro RMS, Ruivo MLP, Moura QL. Teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no estado do Pará. *Floresta e Ambiente* 2012; 19(3): 257-266. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2012.031>.
- Melillo JM, Aber JD, Linkins AE, Ricca A, Fry B, Nadelhoffer KJ. Carbon and Nitrogen dynamics along the decay continuum: Plant litter to soil organic matter. *Plant and Soil* 1989; 115(1): 189-198. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02202587>.
- Mendonça LAR, Frischkorn H, Santiago MMF, Camargo PB, Lima JOG, Mendes J Fo. Identificação de mudanças florestais por 13C e 15N dos solos da Chapada do Araripe/Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2010; 14(1): 314-319. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000300012>.
- Nardoto GB. *Abundância natural de 15N na Amazônia e Cerrado: implicações para a ciclagem de nitrogênio* [tese]. Piracicaba: Setor Ecologia de Agroecossistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo; 2005.
- Norgrove L, Csuzdi C, Forzi F, Canet M, Gounes J. Shifts in soil faunal community structure in shaded cacao agroforests and consequences for ecosystem function in Central Africa. *Tropical Ecology* 2009; 50(1): 71-78.
- Oelbermann M, Voroney RP, Thevathasan NV, Gordon AM, Kass DCL, Schlöner AM. Soil carbon dynamics and residue stabilization in a Costa Rican and southern Canadian alley cropping system. *Agroforestry Systems* 2006; 68(1): 27-36. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-005-5963-7>.
- Pereira JÁ No. *Estoques de carbono em sistemas agroflorestais de cacaueteiro como subsídios a políticas de serviços ambientais* [tese]. Belém: Setor de desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Universidade Federal do Pará; 2012.
- Pezarico CR, Vitorino ACT, Mercante FM, Daniel O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Revista de Ciências Agrárias* 2013; 56(1): 40-47. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.004>.
- Piccolo GA, Andriulo AE, Mary B. Changes in soil organic matter under different land management in Misiones province (Argentina). *Scientia Agrícola* 2008; 65(3): 290-297. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000300009>.
- Saha JK, Singh AB, Ganeshamurthy AN, Kundu S, Biswas AK. Sulfur accumulation in vertisol due to continuous gypsum application for six years and its effect on yield and biochemical constituents of soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 2001; 164(1): 317-320. [http://dx.doi.org/10.1002/1522-2624\(200106\)164:3<317::AID-JPLN317>3.0.CO;2-C](http://dx.doi.org/10.1002/1522-2624(200106)164:3<317::AID-JPLN317>3.0.CO;2-C).
- Salimon CI, Wadt PGS, Melo AWF. Dinâmica do C na conversão de floresta para pastagens em Argissolos da formação geológica Solimões, no sudoeste da Amazônia. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 2007; 7(1): 29-38.
- Santiago WR, Vasconcelos SS, Kato OR, Bispo CJC, Rangel-Vasconcelos LGT, Castellani DC. Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. *Acta Amazonica* 2013; 43(4): 395-406. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000400001>.
- Silva CA Jr, Boechat CL, Carvalho LA. Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região norte do Pará, Brasil. *Bioscience Journal* 2012; 28(4): 566-572.
- Smiley GL, Kroschel J. Temporal change in carbon stocks of cocoa-gliceridia agroforests in Central Sulawesi, Indonesia. *Agroforestry Systems* 2008; 73(1): 219-231. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-008-9144-3>.
- Smith N, Dubois J, Current D, Lutz E, Clement C. *Experiências agroflorestais na Amazônia brasileira: restrições e oportunidades. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil*. Brasília: Ministério do meio ambiente; 1998; 146 p.
- Urquiaga S, Alves BJR, Campos DV, Boddey RM. Aplicação de técnicas de ¹³C em estudos de seqüestro de C em solos agrícolas. In: Alves BJR, Urquiaga S, Aita C, Boddey RM, Jantalia CP, Camargo FAO, editores. *Manejo de sistemas agrícolas: impactos no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa*. Porto Alegre: Genesis; 2006. p. 13-33.