



Estoques de carbono lábil e total em solo sob integração lavoura-pecuária-floresta na região de Transição Cerrado/Amazônia

Elaine Cristina Casula ISERNHAGEN¹, Renato de Aragão Ribeiro RODRIGUES²,
Débora DIEL¹, Eduardo da Silva MATOS³, Marcela Cardoso Guilles da CONCEIÇÃO⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, Mato Grosso, Brasil.

²Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brasil.

³Embrapa Agrossilvipastoral, Sinop, Mato Grosso, Brasil.

⁴Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

*E-mail: eduardo.matos@embrapa.br

Recebido em fevereiro/2017; Aceito em julho/2017.

RESUMO: Objetivou-se comparar o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta com sistemas exclusivos quanto à assimilação e manutenção do carbono orgânico total (COT) e carbono lábil (CL), após o segundo ano de estabelecimento. Os tratamentos constituíram os seguintes sistemas de produção: floresta de eucalipto (EUC), pastagem com *Brachiaria brizantha* (PAST), lavoura de soja-milho consorciada com *B. brizantha* (LAV) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Uma área de fragmento florestal nativo (Mata) e uma de pousio (Pousio) foram utilizadas como referência. A área sob cultivo de EUC obteve o menor teor de COT na camada 0-5cm, enquanto LAV e PAST apresentaram os maiores teores. Por sua vez, os teores de COT para o sistema ILPF, na camada 0-5cm, ficou em uma posição intermediária aos demais. A conversão da vegetação nativa para em cultivo agrícola e florestal contribuiu para a redução dos estoques de COT no solo em 20% na camada de 0-30 cm, representando uma perda de 17,4 Mg ha⁻¹. O efeito do componente florestal na distribuição horizontal do estoque de COT dentro do ILPF foi favorecido no sentido sul, tendência não verificada para CL. Em curto prazo, os impactos dos sistemas conservacionistas sobre os teores de COT e CL do solo foram identificados apenas na camada superficial.

Palavras-chave: agrossilvipastoral; permanganato de potássio; matéria orgânica do solo

Labile and total carbon pools in soil under integrated crop-livestock-forest system in the Cerrado/Amazonia Ecotone

ABSTRACT: The aim of this experiment was to evaluate the carbon assimilation and maintenance among an integrated crop-livestock-forest system and nonintegrated systems through the pools of total soil organic carbon (COT) and labile carbon (CL) after the second year of establishment. Treatments comprised the following production systems: eucalyptus forest (EUC), *Brachiaria brizantha* pasture (PAST), soybean-corn tillage intercropping with *B. brizantha* (LAV) and integrated crop-livestock-forest system (ILPF). An area of native forest fragment (Mata) and a fallow area (Pousio) were used as references. The effects of the forest component on the COT and CL pools in the ILPF were also evaluated. The area under EUC had the lowest concentration of COT in 0-5cm layer, while LAV and PAST showed higher concentrations. Conversion of natural vegetation to cultivated systems reduced soil C stock by 20% in the 0-30 cm layer which corresponded to 17.4 Mg ha⁻¹. The results suggest that the effect of forest component in the horizontal distribution of the TOC stock was favored in the south face of the ILPF, but this trend was not observed for CL. In a short term, the effects of ILPF on COT and CL pools were not statistically detectable.

Keywords: agrossilvipastoral, soil organic matter, potassium permanganate.

1. INTRODUÇÃO

As perdas de carbono orgânico (COT) do solo decorrentes da conversão da vegetação natural para os sistemas de cultivo correspondem a uma das principais causas da degradação dos solos (LAL, 2006). Em região de Cerrado, Costa Junior et al. (2011) constataram que o uso do solo sob de lavoura (9 anos) seguido de pastagem degradada (20 anos) implicou em queda de 21% do estoque de COT do solo se comparado ao de uma área sob mata nativa.

Solos degradados podem ser recuperados a partir do uso de práticas de manejo que contribuam para o aporte de

matéria orgânica solo (MOS). Vários estudos sugerem que sistemas integrados como a integração lavoura-pecuária (ILP), quando bem conduzidos, melhoram algumas das propriedades dos solos, como estrutura física e fertilidade, e podem contribuir para o aumento dos estoques de COT do solo (SOUZA et al., 2009; SILVA et al., 2011; SILVA et al., 2014). Em estudo realizado por Carvalho et al. (2010), em Santa Carmem-MT, verificou-se que após quatro anos de conversão de duas áreas sob lavoura para o sistema ILP, ocorreram acúmulos médios de 1,03 e 1,35 Mg ha⁻¹ de COT no solo durante todo o período de avaliação, enquanto que áreas com pastagem e lavoura anual em plantio direto

(sucessão soja-milho) tiveram decréscimo médio de aproximadamente 1,5 Mg ha⁻¹ de COT em 13 anos.

Além de seu potencial em contribuir para aumentar os estoques de COT no solo, sistemas integrados podem proporcionar uma série de outros benefícios quando comparados às monoculturas, como a diversificação da produção, redução de pragas, maior aproveitamento da área agrícola, melhor uso dos nutrientes do solo, entre outros (LEMAIRE et al., 2014). Alterações na MOS devido às práticas de manejo são difíceis de quantificar em curto prazo, pois ocorrem lentamente e afetam uma pequena parte do carbono orgânico total (COT) (PURAKAYASTHA et al., 2008). Para melhor avaliar os efeitos das práticas de manejo no solo, podem ser utilizadas frações da MOS que podem responder em curto prazo aos tipos de manejos empregados (WANG et al., 2012), como as frações lábil e recalcitrante (ou não lábil) proposta por Blair et al. (1995).

Considerando o estoque de COT e a qualidade da MOS como indicativos de manejo conservacionista do solo, faz-se necessário avaliar o impacto de sistemas ILPF sobre esses atributos, visto que há poucos trabalhos na literatura que tratam do efeito dos sistemas integrados na dinâmica de COT no solo, especialmente, para a região de transição Cerrado/Amazônia. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi comparar o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta com sistemas exclusivos quanto ao impacto nos estoques do COT, assim como as alterações nos teores das frações lábil e recalcitrante do C, além da distribuição horizontal dessas frações no sistema ILPF.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, no município de Sinop-MT (55°37'8.94"W e 11°51'31.84"S), localizada em altitude média de 384 m. Pelo sistema de classificação de Köppen, o clima é do tipo AW, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação média anual é de 2.550mm, tendo uma estação chuvosa bem definida entre os meses de novembro a abril. As médias de temperatura máxima e mínima mensais são de 34°C e 24°C, respectivamente (INMET, 2013). O município situa-se em uma zona de transição edafoclimática entre os biomas Cerrado e Amazônia, com vegetação de Floresta Semidecidual Submontana com dossel emergente (ARAUJO et al., 2009). O relevo da área estudada é plano e o solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (OLIVEIRA et al., 1982). A textura do solo é argilosa, com 322 g kg⁻¹ de areia, 118 g kg⁻¹ de silte e 560 g kg⁻¹ de argila. Características químicas da camada 0-20 cm, antes da instalação do experimento: pH em H₂O de 5,7; 8,7 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1); 74 mg dm⁻³ de K (Mehlich-1); 2,5 cmol_c dm⁻³ de Ca; 0,81 cmol_c dm⁻³ de Mg; 0,02 cmol_c dm⁻³ de Al e 16 g kg⁻¹ de matéria orgânica (MO).

O desmatamento na área experimental começou por volta de 1984, para produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) (ARAUJO et al., 2009), mas só foi finalizado por volta de 2004. No início da década de 1990, a área passou a ser cultivada com arroz (*Oryza sativa* L.) e, posteriormente, com soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. De 2002 a 2007, ela foi cultivada com soja e milho safrinha (*Zea mays* L.), no sistema convencional. Nas safras 2007/2008 e 2008/2009, foram realizadas sucessões de soja e algodão (*Gossypium*

hirsutum L.). Na safra 2010/2011, a área permaneceu em pousio.

Para avaliar sistemas integrados instalou-se um experimento de longa duração na safra 2011/2012, constituído por: cultivo de eucalipto (*Eucalyptus urograndis* clone H13), com espaçamento 3,5 x 3,0 m entre plantas, com 952 plantas ha⁻¹ (EUC); lavoura em plantio direto, sendo soja no verão (espaçamento de 45 cm entre linhas e densidade de 330.000 plantas ha⁻¹) + milho safrinha (espaçamento de 45 cm entre linhas e densidade 60.000 plantas ha⁻¹) consorciado com *Brachiaria brizantha* (A.Rich.) Stapf cv. Marandú (LAV); pastagem, com estabelecimento de *B. brizantha* (A.Rich.) Stapf cv. Marandú (PAST) (espaçamento de 45 cm entre linhas e densidade 4kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis); sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), com cultivo de *E. urograndis* clone H13, em renques de linhas triplas com espaçamento 3,5 x 3,0 m entre plantas, com orientação leste-oeste e distância de 30 m entre os renques, culturas de grãos cultivadas anualmente nos entre-renques, em plantio direto, com soja no verão e cultivo de milho safrinha consorciado com *B. brizantha*, com colheita do milho e estabelecimento da pastagem no inverno. Todas as plantas de espécies florestais usadas, tanto em EUC com ILPF, foram plantadas na mesma época (novembro de 2011) e as mudas tinham idades e tamanhos semelhantes (20 a 30 cm). Todas as parcelas possuem área de 2,0 ha, com exceção daquelas que contêm os tratamentos EUC e LAV, que possuem 1ha.

Foram analisadas complementarmente duas áreas de referência: fragmento florestal nativo (Mata) e área de pousio (Pousio). O Pousio constitui-se de uma área que tem o mesmo histórico de uso da área experimental antes da instalação do experimento, porém não teve nenhum tratamento instalado no local. Esta área possui uma vegetação formada por plantas espontâneas, com predominância de *B. brizantha*, não possui árvores ou arbustos e está situada em posição central na área do experimento. A área Mata está a cerca de 500 m da área experimental.

Nas áreas destinadas ao plantio de mudas florestais realizou-se sulcagem na linha de plantio na profundidade de 50 cm. As adubações variaram de acordo com a cultura implantada em cada local. Nas áreas com eucalipto foram aplicados 350 kg ha⁻¹ de superfosfato simples no sulco do plantio, seguido de adubações de cobertura com 100 g por planta da formulação NPK 20-00-20. Nas áreas de pastagem foram utilizados 400 kg ha⁻¹ de NPK 04-30-16, somente na implantação. Para a soja e milho as adubações ocorreram a cada ano agrícola, sendo 400 kg ha⁻¹ de NPK 00-20-20 para soja e 400 kg ha⁻¹ de NPK 04-30-16 para o milho safrinha consorciado com *B. brizantha*.

As amostragens ocorreram entre os meses de novembro/2012 a abril/2013. Nesse período foram coletadas amostras deformadas para análises químicas, utilizando-se trado tipo sonda, e indeformadas para análises físicas, utilizando-se anel volumétrico, ambas nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Nos tratamentos EUC, LAV, PAST e áreas de referência (Mata e Pousio), as coletas de solo foram realizadas em “zigue-zague”. Para compor cada amostra até 10 cm coletaram-se 50 subamostras, enquanto as demais camadas foram compostas de 25 subamostras, tentando-se obter o mesmo volume final de solo para cada camada. No tratamento ILPF, para analisar a distribuição

horizontal de C, dividiram-se as parcelas em 4 transectos, no sentido N-S, equidistantes entre si, perpendiculares ao renque das árvores. As áreas de coletas ao longo de cada transecto foram definidas como centro do renque e nas distâncias 3, 6, 10 e 15 m da linha externa do renque central (Figura 1), para ambos os lados (norte e sul).

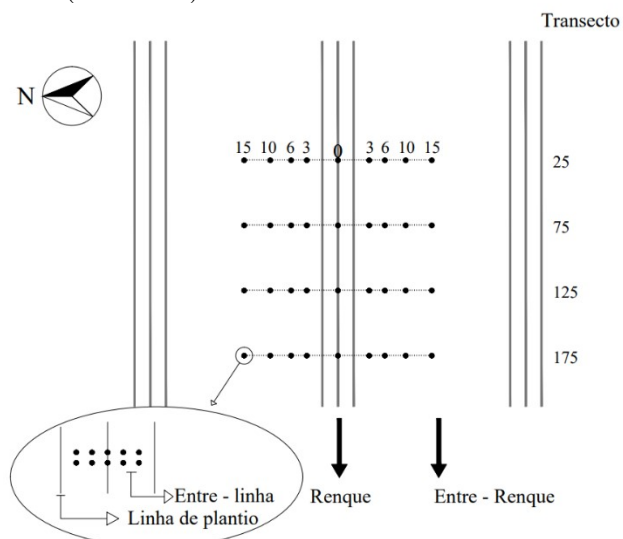


Figura 1. Croqui esquemático na coleta do solo nas parcelas relativas ao tratamento ILPF. As linhas pontilhadas representam os transectos, os pontos pretos representam a área de coleta.
Figure 1. Soil sampling scheme under ILPF treatment. Dotted lines represent the transects and black dots represent the sampling area.

517

As amostras sem estrutura preservada foram secas ao ar por no mínimo 24h, destorroadas e passadas em peneira de 2mm, formando terra fina seca ao ar (TFSA). A densidade do solo foi obtida através do cálculo da massa (g) do solo seco com estrutura preservada a 105°C, até atingir peso constante, dividido pelo volume do anel (cm³).

O COT foi determinado pelo método de combustão seca (Shimadzu TOC-VPH), com amostra < 0,105mm, no departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense-RJ. O carbono oxidável por permanganato de potássio foi determinado no laboratório de solo e água da Embrapa Agrossilvipastoril, por oxidação com solução de KMnO₄ 0,033 mol L⁻¹, segundo método proposto por Blair et al. (1995) e modificado por Shang; Tiessen (1997). O carbono oxidável por permanganato de potássio foi considerado como carbono lábil (CL), enquanto o carbono não lábil (CNL) foi calculado pela diferença entre o COT e o lábil. Para determinar o índice de manejo de carbono (IMC) utilizaram-se as seguintes equações (BLAIR et al., 1995): Labilidade (L) = CL/CNL; Índice de labilidade (IL) = L_{Tratamento}/L_{Mata}; Índice de compartimento do carbono (ICC) = COT_{Tratamento}/COT_{Mata} e IMC = ICC x IL x 100.

Os estoques de COT e CL foram calculados a partir dos teores de COT ou CL e da densidade do solo nas camadas amostradas (BERNOUX et al., 1998). Em seguida, os estoques foram corrigido pelo método de massa equivalente (SISTI et al., 2004), usando a densidade da Mata como referência, para evitar possíveis distorções ocasionadas pela compactação nas áreas cultivadas.

Para análise dos dados dos tratamentos foram verificados os pressupostos da análise de variância (normalidade pelo teste Shapiro-Wilk e homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett) e em seguida aplicado o teste ANOVA. Na presença de diferenças significativas realizou-se o teste de Duncan ($p \leq 0,10$). Na comparação entre os tratamentos e as áreas de referência (Mata e Pousio) utilizou-se o teste T. Utilizou-se para todas as análises o software estatístico SAEG.

3. RESULTADOS

Os teores de carbono orgânico total (COT) e carbono lábil (CL) foram maiores nas camadas superficiais do solo e decresceu com o aumento da profundidade para todos os tratamentos avaliados (Tabela 1). Na camada superficial (0-5 cm), foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para os teores de COT e CL. Para as demais camadas avaliadas, não foram encontradas diferenças significativas quanto aos teores de COT e CL.

Tabela 1. Valores de F obtidos nas ANOVAs dos teores de carbono orgânico total (COT) e carbono lábil (CL), entre os tratamentos, para cada camada analisada.

Table 1. F values of ANOVA of total organic carbon (COT) and labile carbon (CL) concentrations, among evaluated treatments in separated layers.

Camada (cm)	COT			CL		
	F	p	Média (g kg ⁻¹)	F	p	Média (g kg ⁻¹)
0-5	2,9	0,09	30,6	2,8	0,10	2,48
5-10	0,9	0,49	26,8	0,8	0,50	1,87
10-20	1,8	0,22	19,8	1,2	0,35	1,13
20-30	1,3	0,34	16,1	1,0	0,45	0,83

Entre os tratamentos avaliados, o EUC apresentou o menor teor de COT (28,0 g kg⁻¹) e PAST e LAV os maiores teores, 32,0 e 32,5 g kg⁻¹, respectivamente, na camada de 0-5 cm (Figura 2). Nas demais profundidades, não foram observadas variações nos teores de COT entre os sistemas de produção avaliados. Comparados com a área referência (Mata), os teores de COT nos tratamentos avaliados foram, em média, 40% menores na camada 0-5 cm. Nas demais camadas, os teores de COT nos tratamentos foram, entre 16 e 18% menores que os observados para a Mata.

Os teores de CL na camada superficial corresponderam a 8% do COT na camada superficial (0-5 cm). Seguindo a mesma tendência do COT, EUC também apresentou os menores valores de CL (2,20 g kg⁻¹) na camada de 0-5 cm, enquanto LAV, PAST e ILPF apresentaram os maiores valores, em média 2,57 g kg⁻¹. Nas demais camadas avaliadas, não foram encontradas diferenças nos teores de CL entre os tratamentos. Em comparação com a referência (Mata), os teores de CL foram reduzidos em 48, 38, 40 e 22% nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente.

Apesar da variação nos teores de COT e CL na camada superficial (0-5 cm), não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos em relação aos estoques de COT no perfil de 0-30 cm (Tabela 2) que variaram de 66,0 a 71,7 Mg ha⁻¹. O estoque de COT da área de referência (Mata) foi significativamente superior aos estoques de todos os tratamentos e correspondeu a 88,2 Mg ha⁻¹ (Figura 3).

Os estoques de CL variaram de 4,1 a 4,7 Mg ha⁻¹ nos tratamentos avaliados na camada de 0-30 cm. Seguindo a mesma tendência observada para o COT, não foram observadas diferenças entre os tratamentos, no entanto, os valores observados nos tratamentos avaliados foram menores que os observados na referência Mata.

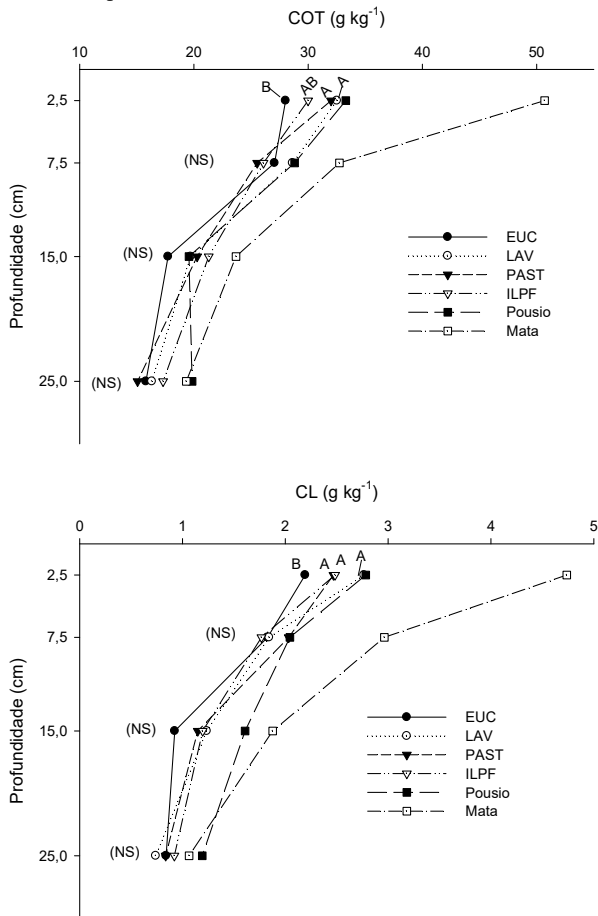


Figura 2. Teores de carbono orgânico total (COT) e lábil (CL) em quatro sistemas de produção e duas áreas de referência, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Duncan ($p < 0,10$).

Figure 2. Total organic carbon (COT) and labile carbon (CL) concentrations for different management systems and reference areas in the 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm layers. Means followed by the same letters do not differ by the Duncan test ($p < 0,10$).

Tabela 2. Valores de F obtidos nas ANOVAs dos estoques de carbono orgânico total (COT) e carbono lábil (CL), entre os tratamentos, para a camada de 0-30 cm.

Table 2. F values of ANOVA of total organic carbon (COT) and labile carbon (CL) stocks, among evaluated treatments in 0-30 cm layer.

Camada (cm)	COT			CL		
	F	p	Média (Mg ha ⁻¹)	F	p	Média (Mg ha ⁻¹)
0-30	0,9	0,46	69,67	1,6	0,25	4,49

Ao avaliar a distribuição horizontal dos estoques de COT, dentro do tratamento ILPF, houve tendência de maiores valores de COT no solo na área voltada para a face sul quando comparada com a face norte (Figura 4). O estoque de COT na face voltada para o sul correspondeu, em média, a 73,1 Mg ha⁻¹, enquanto, que a face voltada para o norte esse valor foi de 69,3 Mg ha⁻¹.

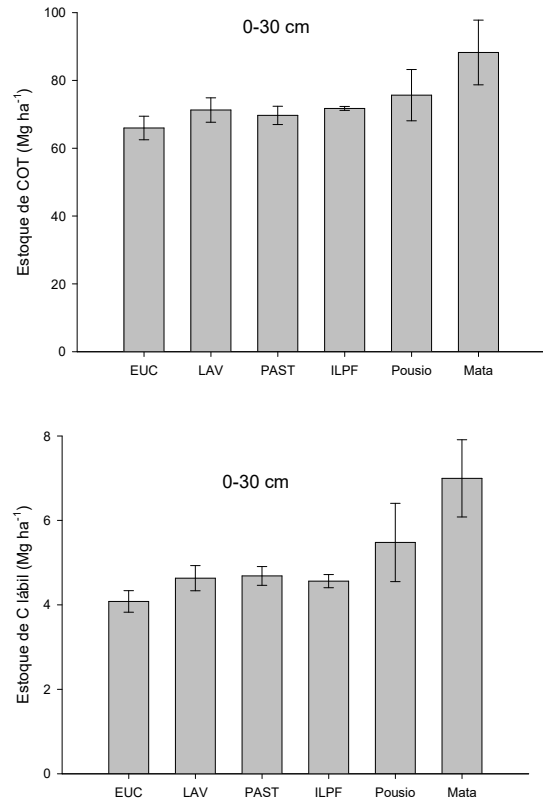


Figura 3. Estoques de carbono orgânico total (COT) e carbono lábil (CL), em quatro sistemas de produção e duas áreas de referência, na camada de 0-30 cm. Barras verticais representam o erro padrão.

Figure 3. Total organic carbon (COT) and labile carbon (CL) stocks for different management systems and reference areas in the 0-30 cm layer. Vertical bars represent the standard error.

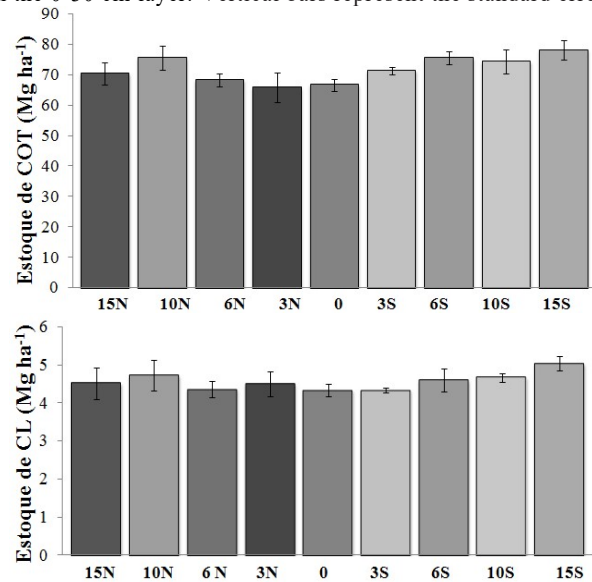


Figura 4. Variação horizontal dos estoques de carbono total (COT) e lábil (CL) (0-30 cm) dentro do tratamento integração lavoura-pecuária-floresta, de acordo com a distância do renque central de árvores, nas direções norte e sul.

Figure 4. Horizontal distribution of total organic carbon (COT) and labile carbon (CL) stocks (0-30 cm) in the transect of the integrated crop-livestock-forest system. N: North face; S: South face.

Já em relação aos estoques de CL não houve variação, tanto entre as faces quanto em relação às diferentes distâncias avaliadas.

Os índices de manejo de carbono variaram de 47 a 87% nas diferentes camadas e tratamentos avaliados (Tabela 3). Os menores valores foram observados nas camadas superficiais e os maiores na camada de 20-30 cm. Apesar das variações observadas nos valores de IMC, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos avaliados em uma mesma camada de solo.

Tabela 3. Índice de manejo do carbono (IMC), para quatro sistemas de produção e áreas de referência, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm.

Table 3. Carbon management index for different management systems and reference areas in the 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm layers.

Tratamentos	IMC (%)			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
EUC	47 a	59 a	48 a	80 a
LAV	60 a	63 a	65 a	69 a
PAST	54 a	69 a	60 a	79 a
ILPF	53 a	57 a	62 a	87 a
Pousio	59	67	87	113
Mata	102	99	100	100

EUC: plantio florestal de eucalipto, LAV: lavoura com culturas anuais, PAST: pecuária com estabelecimento de braquiária, ILPF: integração lavoura-pecuária-floresta, Mata: fragmento florestal nativo. Médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Duncan, $p < 0,05$)

4. DISCUSSÃO

Dentre os tratamentos avaliados, EUC apresentou o menor teor de COT ($28,0 \text{ g kg}^{-1}$) na camada superficial (0-5 cm). Esses resultados demonstram que provavelmente, o revolvimento do solo (50 cm) no plantio das árvores, movimentou o solo de camadas inferiores onde há menor teor de carbono para a camada superior, acarretando em menores teores de C nessas camadas. Apesar de plantios comerciais de eucalipto serem considerados eficientes em acumular C no solo, o curto período de tempo transcorrido entre a implantação do experimento e a coleta de solo influenciou esse resultado. Silva et al. (2012) verificaram que três plantios comerciais de eucalipto com 9, 6 e 4 anos apresentaram, na camada 0-5 cm, teores de C em geral superiores até mesmo às matas nativas adjacentes às áreas avaliadas. Já para Alcântara Neto et al. (2011), ao compararem plantios de eucalipto de 3, 6 e 7 anos de idade com algumas fitofisionomias de Cerrado (*sensu stricto*, denso e campo sujo), verificaram que as áreas nativas apresentavam teores maiores de C do que os plantios comerciais, mas que a diferença entre essas áreas diminuiu de acordo com o aumento da idade de plantio dos eucaliptos.

Comparados com a mata nativa, os teores de COT foram, em média, 40% menores na camada superficial (0-5 cm) e cerca de 18, 16 e 16 % nas camadas de 5-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. A conversão de áreas de vegetação nativa em cultivo agrícola e florestal geralmente resulta na diminuição de 20 a 50% dos teores de COT (LAL, 2005), até ser atingido um novo equilíbrio nos teores de MOS. O tempo para se atingir esse equilíbrio é totalmente dependente do tipo de manejo que é dado ao solo. De acordo com estudos anteriores (BATLLE-BAYER et al., 2010; DON et al., 2011) o uso

de plantas de cobertura com elevada adição de resíduos ao solo, auxiliam na promoção da manutenção da matéria orgânica do solo (MOS). Culturas com elevada relação C:N também auxiliam na incorporação de MOS, pois o tempo de meia-vida é maior, o que resulta em menor velocidade de decomposição e mantém os resíduos vegetais sobre o solo por maior tempo (CERETTA et al., 2002).

Os maiores valores de CL foram verificados na camada superficial em virtude da grande quantidade de resíduos vegetais aportados na superfície do solo (SALTON, et al., 2011). Campos (2010), também encontraram valores de CL de lavoura com SPD de três e cinco anos próximos de cerrado nativo, seguidos de ILP com dois anos de implantação e menores valores em PC de três anos, nos primeiros 5 cm do perfil do solo.

Os maiores valores de C em frações mais lábeis observados na área com vegetação nativa, podem estar associados ao maior aporte de resíduos e à maior proteção física da matéria orgânica proporcionada pelos agregados do solo (POST; KNOW, 2000). Ao avaliar o CL de vegetação nativa (Cerrado), plantio direto, pastagem revolvida, ILP de quatro anos e ILP de oito anos, Silva et al. (2011), verificaram que o teor de CL do sistema ILP de quatro anos foi igual ao da pastagem revolvida com os valores mais baixos, enquanto que ILP de oito anos apresentou teores de CL estatisticamente iguais ao da vegetação nativa. Esses resultados demonstram que se requer tempo para que as transformações sejam perceptíveis dentro da acurácia dos métodos utilizados.

Em comparação com a Mata, os estoques de COT em todos os sistemas de cultivo avaliados foram reduzidos em 20% na camada de 0-30 cm. Esses valores representam uma perda de $17,4 \text{ Mg ha}^{-1}$. Valores similares foram encontrados por Luo et al (2010) que observou perdas de COT de 20 Mg ha^{-1} após conversão de uma área de vegetação nativa em sistemas de cultivo. No presente estudo, as perdas nos estoques de COT estão, provavelmente, relacionadas não só pelos tratamentos, mas principalmente pelo cultivo do solo antes da instalação do experimento (1984/2004 a 2011).

Vergutz et al. (2010) avaliaram o impacto de sistemas agrossilvipastoris em diferentes frações de C ao longo de 10 anos e observaram redução do estoque de C sem que ocorresse retorno dos estoques originais durante o período estudado. Silva et al. (2011) verificaram que, após oito anos de implantação de um sistema ILP, houve incremento nos estoques de COT e nas frações lábeis e recalcitrantes da MOS equivalente ao de um sistema sob plantio direto com 23 anos de implantação. Já Santos et al. (2009), que analisaram seis sistemas ILP com diferentes rotações de culturas, verificaram que, após oito anos de implantação, a MOS no ILP não diferia da vegetação nativa. Esses resultados reforçam que, apesar dos sistemas integrados serem promissores no acúmulo de COS, muitas vezes essas mudanças no COT são identificadas apenas em longo prazo.

Em média, os estoques de CL foram reduzidos em 40% nas áreas cultivadas comparado com a referência Mata, sendo o impacto dos sistemas de cultivo maior na fração lábil do C (CL) do solo do que no total (COT). Resultado similar foi encontrado por Leite et al. (2003) ao comparar diferentes sistemas de cultivo durante 16 anos.

Em relação à distribuição horizontal dos estoques de COT no sistema ILPF, os resultados encontrados sugerem que o renque de árvores pode afetar a capacidade de acúmulo de C de forma diferenciada em relação ao sentido norte-sul. A distribuição horizontal do estoque de COT, dentro do tratamento ILPF, apresentou valores discretamente superiores na face voltada para o sul. Também nesse sentido verificou-se um aumento nas concentrações conforme aumentou a distância do renque de árvores.

Apesar das diferenças observadas nos teores de COT e CL entre os sistemas de manejo na camada superficial, não foram observadas variações com relação ao índice de manejo de carbono (IMC). O IMC, proposto por Blair et al. (1995), relaciona os estoques de COT do solo e sua labilidade com base em uma área de referência. Alguns trabalhos apontam que quanto mais intensos forem os processos de degradação do solo, como sobrepastejos, manutenção de solos descobertos, baixa produção de resíduos, entre outros, menores são os IMCs (SOUZA et al., 2009; SILVA et al., 2011).

5. CONCLUSÕES

Em curto prazo, os impactos dos sistemas conservacionistas nos teores de carbono orgânico total e carbono lábil solo foram identificados apenas na camada superficial;

A conversão da vegetação nativa para o uso agrícola e florestal contribuiu para a redução dos estoques de carbono orgânico total no solo em 20% na camada de 0-30 cm, representando perda de 17,4 Mg ha⁻¹ em um período de até 30 anos;

O renque de árvores do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) afetou a distribuição horizontal do estoque de carbono orgânico total, sendo que o sentido sul foi favorecido em detrimento do sentido norte.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento dos projetos “Estabelecimento e avaliação de sistemas de ILPF no estado do Mato Grosso” e à Capes pela concessão das bolsas de Mestrado.

7. REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA NETO, F.; LEITE, L. F. C.; ARNHOLD, E.; MACIEL, G. A.; CARNEIRO, R. F. V. Compartimentos de carbono em Latossolo Vermelho sob cultivo de eucalipto e fitofisionomias de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 849-856, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300019>

ARAUJO, R. A.; COSTA, R. B.; FELFILI, J. M.; GONCALVEZ, I. K.; SOUZA, R. A. T. M.; DORVAL, A. Florística e estrutura de fragmento florestal em área de transição na Amazônia Matogrossense no município de Sinop. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 865-878, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000400015>

BATTLE-BAYER, L.; BATJES, N. H.; BINDRABAN, P. S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 37, n. 1-

2, p. 47-58, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.02.003>

BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C. C.; BOURENNANE, H. Modelling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). **Soil Science**, v. 163, n. 163, p. 941-951, 1998.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR951459>

CAMPOS, L. P. **Dinâmica do carbono e do nitrogênio em um Latossolo Amarelo sob plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado do Piauí**. 2010. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, 2010.

CARVALHO, J. L.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGI, 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**, v. 110, n. 1, p. 175-186, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.011>

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000100009>

COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M. C.; NETO, M. S.; CAMARGO, P. B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e $\delta^{13}C$ 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, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000400017>

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 17, n. 4, p. 1658-1670, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Brasília, DF: INMET, 2013. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>. Acesso em: 16 fev 2014.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, v. 220, n. 1-3, p. 242-258, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.015>

LAL, R. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. **Land Degradation & Development**, v. 17, n. 2, p. 197-209, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.696>

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

- DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500006>
- LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P. C. F.; DEDIEU, B. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 190, p. 4-8, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>
- LUO, Z.; WANG, E.; SUN, O. J. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 139, p. 224-231, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.08.006>
- OLIVEIRA, V. A.; AMARAL FILHO, Z. P.; VIEIRA, P. C. Pedologia. In: Projeto Radam Brasil. Folha SD. 21, **Cuiabá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1982.
- POST, W. M.; KWON, K. C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. **Global Change Biology**, v. 6, n. 3, p. 317-327, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>
- PURAKAYASTHA, T. J.; RUDRAPPA, L.; SINGH, D.; SWARUP, A.; BHADRARAY, S. Long-term impact of fertilizers on soil organic carbon pools and sequestration rates in maize-wheat-cowpea cropping system. **Geoderma**, v. 144, n. 1-2, p. 370-378, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.12.006>
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000031>
- SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 719-727, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.925>
- SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 162, n. 11, p. 795-807, 1997.
- SILVA, E. F.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e reaclitrantes de matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000028>
- SILVA, E. A.; SILVA, C. A.; SILVA, I. R.; MARQUES, J. J. G. S. M.; ARAÚJO, E. F.; CARVALHO, S. A.; SILVA, S. H. G.; CURTI, N. Frações de carbono em topossequências de solos sob eucalipto com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1167-1178, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000400011>
- SILVA, D. S.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop-livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 60-69, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.005>
- 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**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>
- SOUZA, E. D. de; COSTA, S. E. V. G. de A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; ANDRIGUETI, M.; CAIO, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1829-1836, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600031>
- VERGUTZ, L.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; NUNES, T. N.; PIAU, A. A. M. Mudanças na matéria orgânica do solo causadas pelo tempo de adoção de um sistema agrossilvopastoril com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 43-57, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100005>
- WANG, K.; SONG, C.; WANG, X.; SONG, Y. Changes in labile soil carbon fractions in wetland ecosystems along a latitudinal gradient in Northeast China. **Catena**, v. 96, p. 83-89, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.03.009>