



Semina: Ciências Agrárias

ISSN: 1676-546X

semina.agrarias@uel.br

Universidade Estadual de Londrina

Brasil

Loss, Arcângelo; Pereira, Marcos Gervasio; Beutler, Sidinei Julio; Perin, Adriano; Cunha dos Anjos, Lúcia Helena

Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano

Semina: Ciências Agrárias, vol. 34, núm. 5, setembro-outubro, 2013, pp. 2153-2167

Universidade Estadual de Londrina

Londrina, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744135013>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano

Mineralizable carbon, organic carbon and nitrogen in macroaggregates of an Oxisol under different systems soil usages in Cerrado Goiano

Arcângelo Loss^{1*}; Marcos Gervasio Pereira²; Sidinei Julio Beutler³; Adriano Perin⁴; Lúcia Helena Cunha dos Anjos²

Resumo

A integração lavoura-pecuária (ILP) em sistema plantio direto (SPD) pode aumentar o teor de carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio dos macroagregados do solo quando comparada a áreas de SPD, sem pastejo. O objetivo deste trabalho foi quantificar o carbono mineralizável e os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio (N) de macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. Foram avaliadas duas áreas com rotação de culturas: ILP (milho+braquiária/feijão/algodão/soja) e SPD (girassol/milheto/soja/milho). Uma área de Cerrado natural foi tomada como condição original do solo. Foram coletadas amostras indeformadas nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, sendo posteriormente incubadas em laboratório em delineamento inteiramente casualizado. Avaliou-se a quantidade de C-CO₂ desprendida de cada amostra de agregados diariamente (até 37 dias) e, também, a respiração total de C-CO₂ acumulada. Antes e após a incubação foram quantificados os teores de COT, N e a relação C/N. A área de ILP apresentou maiores valores de C-CO₂ (0-5 cm) logo após a incubação quando comparada às demais áreas. Aos 7 dias após a incubação, nos três sistemas avaliados, observou-se um aumento na liberação de C-CO₂ e, a partir do 25º dia ocorreu a estabilização da respiração microbiana. Entre as áreas cultivadas, a área de ILP apresentou maior acúmulo de C-CO₂ e maiores teores de COT, N (antes e depois da incubação) e, menor relação C/N, antes da incubação. A ILP promoveu maiores acúmulos de C-CO₂ quando comparada a área de SPD. A integração dos fatores rotação de culturas, plantas de cobertura (braquiária) e pastejo bovino no sistema de ILP aumentam o carbono mineralizável (acúmulos de C-CO₂), COT e N nos macroagregados em comparação a área de SPD.

Palavras-chave: Integração lavoura-pecuária, sistema plantio direto, milho/braquiária, atividade microbiana, carbono lável

Abstract

The crop-livestock integration system (CLIS) associated to a no-tillage system (NTS) may increase mineralizable carbon, organic carbon and nitrogen of soil macroaggregates when compared with only

¹ Prof. Adjunto, Deptº de Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC. E-mail: arcangeloloss@yahoo.com.br

² Profs. Associados IV, Deptº de Solos, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica, RJ. E-mail: gervasio@ufrj.br; lanjos@ufrj.br

³ Discente de Doutorado do CPGA-CS, Deptº Solos, UFRRJ, Seropédica, RJ. E-mail: s.paraná@yahoo.com.br

⁴ Prof. do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Rio Verde, Rod. Sul Goiana, km 01, Zona Rural, Rio Verde, GO, 75901-970. E-mail: perinrj@yahoo.com.br

* Autor para correspondência

NTS area, without grazing. The aim of this study was to quantify mineralizable carbon, total organic carbon (TOC) and nitrogen of macroaggregates in different land management systems in Cerrado region, Goias State. There were evaluated two areas with crop rotation: CLIS (Brachiaria+corn/bean/cotton/soybean) and NTS (sunflower/millet/soy/corn). A Cerrado area with natural vegetation was taken as reference for the original soil. Undisturbed soil samples were taken at 0-5 and 5-10 cm depth, and then incubated in laboratory, with the samples set in a randomized design. There were evaluated the C-CO₂ detached daily (up to 37 days) from each sample and total respiration of C-CO₂ accumulated were also analyzed. Before and after incubation of soil aggregates (0 to 5 and 5 to 10 cm), the TOC, N and C/N were quantified. The CLIS samples showed higher C-CO₂ (0-5 cm) immediately after incubation when compared to other samples. At 7 days after incubation, in the three systems, there was an increase of C-CO₂ liberation and, after the 25th day the microbial respiration was stabilized. Comparing the cultivated areas, CLIS showed higher C-CO₂ accumulation and the highest TOC, N (before and after incubation), and lower C/N ratio, before incubation. The CLIS increased higher C-CO₂ accumulations than the NTS area. The integration of the factors crop rotation, cover crops (brachiaria) and cattle grazing in the CLIS increase mineralizable carbon (C-CO₂ accumulations), TOC and N in macroaggregates compared to the NTS area.

Key words: Crop-livestock integration system, no-tillage system, corn/brachiaria, microbial activity, labile carbon

Introdução

Há aproximadamente 200 anos, o homem vem interferindo massivamente no fluxo global de carbono (C), sendo a agricultura convencional, embasada no uso de arados e grades, a grande responsável pelas perdas de carbono do solo (MACHADO, 2005). Sistemas de preparo convencional com revolvimento do solo por aração e gradagem apresentam decréscimo expressivo nos estoques de matéria orgânica do solo (MOS) em comparação ao sistema plantio direto (SPD) (LEITE et al., 2010; TEIXEIRA; LA SCALA JÚNIOR; LOPES, 2010; LOSS et al., 2010; BODDEY et al., 2010) e aos sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) (TRACY; ZHANG, 2008; MACEDO, 2009; ANGHINONI et al., 2011; LIEBIG et al., 2012). Portanto, sistemas de produção que resultam no aumento dos teores da MOS, a exemplo do SPD e ILP, têm sido apontados como mais sustentáveis, devido a relação direta e indireta da MOS com a melhoria dos atributos edáficos (MIELNICZUK et al., 2003; FONTANA et al., 2006; VILELA et al., 2011; LOSS et al., 2011, 2012a).

O sistema de ILP, implantado através do SPD, é um sistema de manejo da produção agrícola que contribui para o aumento do sequestro de carbono e dos estoques de nutrientes no solo (LOSS et al., 2012a,b), além de favorecer a manutenção da

agregação do solo e aumento dos teores de MOS (SILVA et al., 2011; LOSS et al., 2011). Esses benefícios são potencializados pela introdução de espécies forrageiras, pois de forma geral, as forrageiras acumulam mais carbono em comparação às culturas agrícolas, cuja fitomassa se mostra, muitas vezes, insuficiente para a manutenção da cobertura do solo (CARVALHO, 2007; EMBRAPA, 2009; SOUZA et al., 2009; LOSS et al., 2011). A introdução de culturas agrícolas associadas a pastagens em SPD, com destaque para a braquiária, pode resultar em melhores condições ambientais, uma vez que a diversidade observada neste sistema, os caminhos do fluxo de nutrientes e outros processos comuns na natureza resultam em uma agricultura mais conservacionista (CARVALHO et al., 2010; FERREIRA et al., 2011; ANGHINONI et al., 2011).

Avaliando os estoques de carbono orgânico total (COT) e estoques de carbono da matéria orgânica particulada em Latossolo Vermelho de textura argilosa no Cerrado (GO) em áreas cultivadas com soja sobre braquiária e soja sobre sorgo, ambas em SPD, Rossi et al. (2012) encontraram maiores valores dessas frações da MOS na área com a braquiária. Os autores concluíram que os resultados encontrados são decorrentes do maior aporte de palhada da braquiária e também da contribuição do

sistema radicular via rizodeposição para aumentar os teores de MOS. Em outro estudo sobre os estoque de COT em áreas com ILP, SPD e vegetação natural de Cerrado (Cerradão) sob Latossolo Vermelho, GO, Loss et al. (2012a) verificaram que os estoques de COT foram maiores na área de ILP (130,95 Mg ha⁻¹) quando comparados com a área de Cerradão (125,34 Mg ha⁻¹) e SPD (116 Mg ha⁻¹) para a camada de 0-60 cm. E, os autores atribuíram essas diferenças ao efeito da integração de plantas de cobertura (braquiária) consorciada ao milho safrinha no sistema de ILP, propiciando a deposição de resíduos culturais de degradação mais lenta e, portanto, favorecendo o acúmulo de COT pela sua maior relação C/N.

Várias culturas têm sido utilizadas nos sistemas de ILP, entre as quais se destacam: soja, milho, milheto, sorgo, nabo forrageiro, girassol, algodão e gramíneas forrageiras tropicais, principalmente as braquiárias (*Urochloa* sp), consorciadas ou não. Entretanto, poucos experimentos de longa duração com o uso de rotação lavoura-pecuária em ecossistemas tropicais e subtropicais, com ênfase nas modificações ocasionadas na agregação do solo, têm sido relatados (CARVALHO, 2007, 2009; FRANCHINI et al., 2010; LOSS et al., 2011). Dessa forma, tornam-se necessários mais estudos sobre o sistema de ILP, principalmente em relação à emissão de C-CO₂ (carbono mineralizável) dos macroagregados do solo.

A taxa de decomposição do material orgânico e a conseqüente liberação de C-CO₂ são determinadas principalmente pelas características intrínsecas da própria matéria orgânica, tais como: relação C/N; teores de carboidrato, lignina; grau de agregação; características do solo (pH, teores de nutrientes e umidade) e características do ambiente (temperatura e precipitação) (DAVIDSON; BELK; BOONE, 1998; BROOKES, 1995). A atividade microbiana de um solo inclui todas as reações metabólicas

celulares, suas interações e seus processos bioquímicos mediados ou conduzidos pelos organismos do solo. A liberação de gás carbônico ou respiração edáfica está diretamente relacionada à decomposição da matéria orgânica e a mineralização do húmus (SIQUEIRA et al., 1994).

Quando se adiciona ao solo fonte de carbono, estimula-se a respiração microbiana. Este padrão é observado pela adição de carboidrato simples, por exemplo, glicose, que é uma molécula pequena e com ligações simples, facilmente decomponível e que pode ser submetida a uma rápida metabolização pela população microbiana do solo, consequentemente induz a liberação de C-CO₂ para a atmosfera (FARIAS et al., 2005).

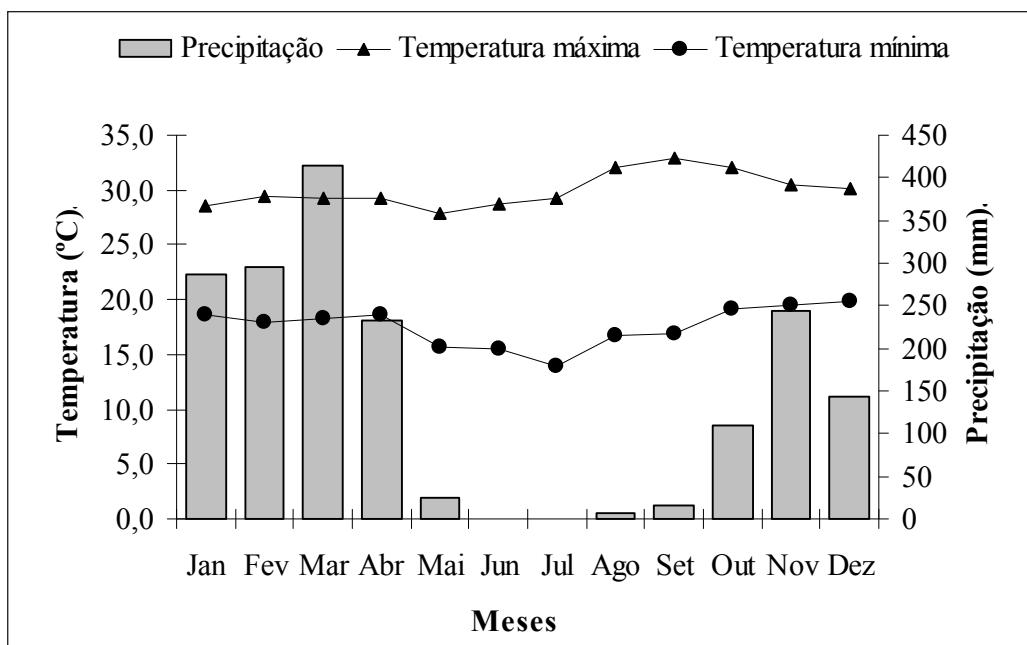
A atividade microbiana tem papel de destaque no cenário da sustentabilidade ambiental (SOUZA et al., 2010) e pode ser estimada por métodos relativamente simples. Dentre estes, destaca-se o C mineralizável que é quantificado a partir da evolução de CO₂ (ZIBILSKE, 1994) oriundo da respiração de microrganismos heterotróficos aeróbicos durante a oxidação de compostos orgânicos (KENNEDY; SMITH, 1995; BOSSUYT; SIX; HENDRIX, 2002; ASSIS JÚNIOR; KAZUYA; COUTO, 2003).

A partir do exposto, este trabalho teve como objetivo quantificar o carbono mineralizável e os teores de carbono orgânico total e nitrogênio total de macroagregados de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano.

Material e Métodos

O estudo foi realizado na Fazenda Vargem Grande, pertencente à Agropecuária Peeters, localizada em Montividiu, GO (17° 21'S; 51° 28'W). O clima da região se caracteriza por duas estações bem definidas: uma seca (de maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril) (Figura 1).

Figura 1. Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura no ano de 2008. Fonte: Estação Meteorológica da Fesurv – Universidade de Rio Verde (17° 48'S; 50° 55'W, Rio Verde, GO).



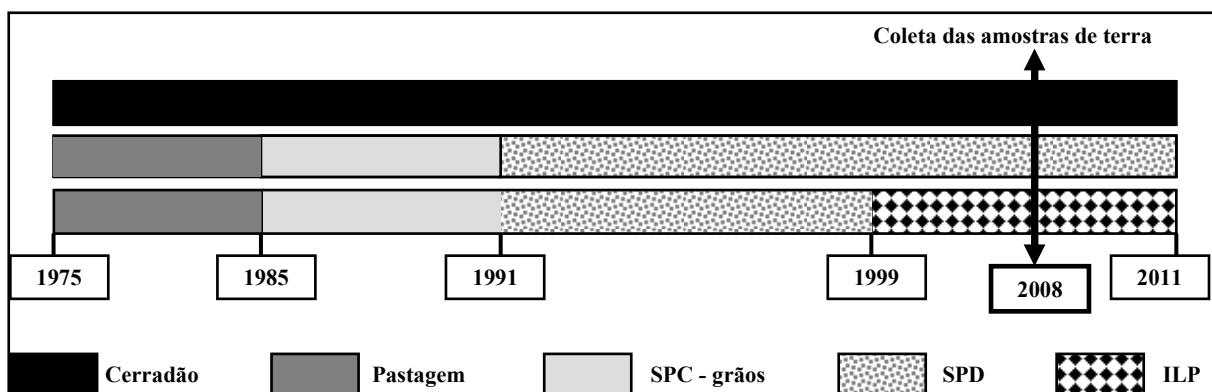
Fonte: Elaboração dos autores.

O solo nas áreas foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico com textura muito argilosa (EMBRAPA, 2006). Na composição mineralógica da fração argila predominam a gibbsita, caulinita e a hematita (SIQUEIRA NETO, 2006; LOSS, 2011).

A cobertura vegetal original da área é o Cerrado, com fitofisionomia do tipo Cerradão (vegetação

de caráter florestal). A vegetal original foi retirada em 1975 para implantação de pastagens (*Urochloa decumbens*). Em seguida, a área foi preparada por meio de aração e gradagem niveladora (sistema de preparo convencional – SPC) para posterior semeadura da *U. decumbens*. Esta permaneceu na área por 10 anos, sob uso contínuo, até 1985 (Figura 2).

Figura 2. 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.



Fonte: Elaboração dos autores.

A partir de 1985, as áreas foram cultivadas com grãos (milho, feijão, soja e girassol) sob SPC (aração e gradagem niveladora) até o ano de 1991. Posteriormente, foi implantado o Sistema de Plantio Direto (SPD) com rotação de culturas (milho, soja, algodão, feijão) e, a partir de 1999, parte do SPD foi transformado em Integração Lavoura-Pecuária (ILP). 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 2).

Os sistemas avaliados consistiram de duas áreas cultivadas em SPD por 17 anos (1991 a 2008): uma somente com rotação de culturas (SPD: girassol-milheto-soja-milho), e outra com braquiária (*U. ruziziensis*) em consórcio ao milho safrinha, para intensificar a produção de palhada no período seco do ano (ILP: milho-braquiária-feijão-algodão-soja). No sistema de ILP (9 anos: 1999 a 2008), o milho e a braquiária foram semeados simultaneamente (braquiária na entrelinha e o milho na linha). 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. Quando da ocasião das primeiras chuvas, 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, quando a área estava totalmente coberta pela capineira, foi feita a dessecação e o plantio do feijão. Uma área de Cerrado (Cerradão) natural mais próxima às áreas cultivadas e sob o mesmo solo (17°26.642'S; 51°22.522'W e altitude 951 m) foi considerada como condição original do solo.

Nas áreas sob ILP e SPD, aplicaram-se, em 2005, 3,60 e 2,90 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, com PRTN = 70%, para a elevação da saturação por bases para 70% e 60%, respectivamente. A sequência de culturas e adubações utilizadas nas duas áreas, desde o ano de 2002 até 2008, é apresentada na Tabela 1. Na área de SPD, todo mês de agosto, foi realizada a semeadura do milheto para produção de palhada para o plantio da soja em outubro. Anteriormente a 2002, a área permanecia em pousio durante os meses de maio a setembro, nascendo na área plantas da família das gramíneas, como o colonião e a braquiária. Na área de ILP, a utilização da cultura do milho e a braquiária semeados simultaneamente (braquiária na entrelinha) ocorreu em um total de 5 vezes (Tabela 1).

Tabela 1. Sequência de culturas e adubações utilizadas nas áreas avaliadas da Fazenda Vargem Grande da Agropecuária Peeters, em Montividiu, GO.

Ano	Mês	Cultura	Kg ha ⁻¹ de N – P ₂ O ₅ – K ₂ O				
			Plantio		Cobertura		
Área de ILP (milho-braquiária-feijão-algodão-soja)							
2002	Outubro	Soja	12	116	105	-----	
2003	Fevereiro	Milho+Braquiária	35	140	70	45	0,0
2003	Outubro	Soja	12	116	105	-----	
2004	Fevereiro	Milho+Braquiária	32	126	63	45	0,0
2004	Outubro	Soja	10	100	90	-----	
2005	Fevereiro	Milho + Braquiária	34	137	69	45	0,0
2005	Setembro	Feijão	20	80	40	41	0,0
2005	Dezembro	Algodão	50	150	50	50	50
2006	Outubro	Soja	10	100	90	-----	

continua

continuação

2007	Fevereiro	Milho+Braquiária	32	126	63	45	0,0	0,0
2007	Outubro	Soja	9	90	81		-----	
2008	Fevereiro	Milho+Braquiária	32	126	63	45	0,0	0,0
2008	Setembro	Feijão	20	80	40	41	0,0	0,0
2008	Dezembro	Algodão	50	150	50	50	0,0	50
Área de SPD (girassol-milheto-soja-milho)								
2002	Agosto	Milheto		-----			-----	
2002	Outubro	Soja	12	116	105		-----	
2003	Fevereiro	Milho	32	126	63	45	0,0	0,0
2003	Agosto	Milheto		-----			-----	
2003	Outubro	Soja	12	116	105		-----	
2004	Fevereiro	Milho	32	126	63	45	0,0	0,0
2004	Agosto	Milheto		-----			-----	
2004	Outubro	Soja	12	116	105		-----	
2005	Fevereiro	Milho	32	126	63	45	0,0	0,0
2005	Agosto	Milheto		-----			-----	
2005	Outubro	Soja	12	116	105		-----	
2006	Fevereiro	Girassol	6	60	60	45	0,0	0,0
2006	Agosto	Milheto		-----			-----	
2006	Outubro	Soja	10	100	90		-----	
2007	Fevereiro	Milho	28	112	56	45	0,0	0,0
2007	Agosto	Milheto		-----			-----	
2007	Outubro	Soja	10	100	90		-----	
2008	Fevereiro	Girassol	6	60	60	45	0,0	0,0
2008	Agosto	Milheto		-----			-----	
2008	Outubro	Soja	10	100	90		-----	

Fonte: Elaboração dos autores.

As áreas encontravam-se cultivadas com girassol em SPD e milho + braquiária em ILP quando da coleta das amostras de solo para avaliação (Figura 2). Para a coleta das amostras foi delimitada uma área de ± 600 m², sendo abertas quatro minitrincheiras transversais às linhas de semeadura em cada área. Para a coleta dos agregados foram retirados blocos indeformados (EMBRAPA, 1997) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, com auxílio de espátula, nas trincheiras descritas acima, sendo cuidadosamente acondicionados em sacos plásticos e identificados. Os agregados do solo, coletados na faixa de friabilidade, foram manualmente separados até toda a amostra passar em um conjunto de peneiras de 8 e 4 mm (EMBRAPA, 1997), secos a

sombra e armazenados para as análises de evolução do C-CO₂ em laboratório.

As amostras dos agregados, secas ao ar, foram reumedecidas (GONÇALVES et al., 2002) por pulverização com água, duas vezes ao dia (manhã e noite) durante duas semanas. Em seguida foi determinada a capacidade de campo segundo o método do funil. Para tal, pesaram-se 30 g de agregados, colocando-as num funil de plástico com 10 cm de diâmetro, vedado com lã de vidro na base, para evitar perda de material. Posteriormente, os agregados foram saturados com água deionizada. Os funis foram cobertos com filme plástico para minimizar perdas de água por evaporação e assim

permaneceram por 4-6 horas para drenagem do excesso de água. Em seguida, cerca de 5 g de cada amostra de agregados foram secas em estufa a 105°C até atingir massa constante. A capacidade de campo foi determinada utilizando a seguinte equação: CC = P1-P2 / P2; onde, CC.= capacidade de campo; P1= massa da amostra de solo úmida (g); P2= massa da amostra de solo seca (g).

Para a avaliação do C-CO₂ em laboratório, utilizou-se o método proposto por Mendonça e Matos (2005). Foram pesados 50 g de agregados que passaram pela peneira de 8,00 mm e ficaram acondicionados na peneira de 4,00 mm (após reumedeçidos) e colocados em recipientes de vidro de 500 cm³, com fechamento hermético, sendo a umidade dos agregados do solo ajustada para 65 % da capacidade de campo. A cada recipiente foi adicionado um frasco contendo 30 mL de solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, para capturar o C-CO₂ e outro contendo 30 mL de H₂O (para manter a umidade constante). Os recipientes de vidro (4 repetições por sistema de uso do solo) foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, sendo a temperatura ambiente (dentro do laboratório) mantida em 25 °C por meio de refrigeração.

As amostragens e posteriormente os cálculos de C-CO₂ foram feitos em intervalos de 24 h nos primeiros 7 dias, de 48 h entre o 8º e o 17º dia e de 96 h entre o 18º e 37º dia. Antes e após a incubação dos agregados do solo (0-5 e 5-10 cm) foi quantificado o carbono orgânico total (COT) segundo Yeomans e Bremmer (1988) e o nitrogênio total (N) conforme Tedesco, Volkweiss e Bohnen (1995), sendo calculada a relação C/N.

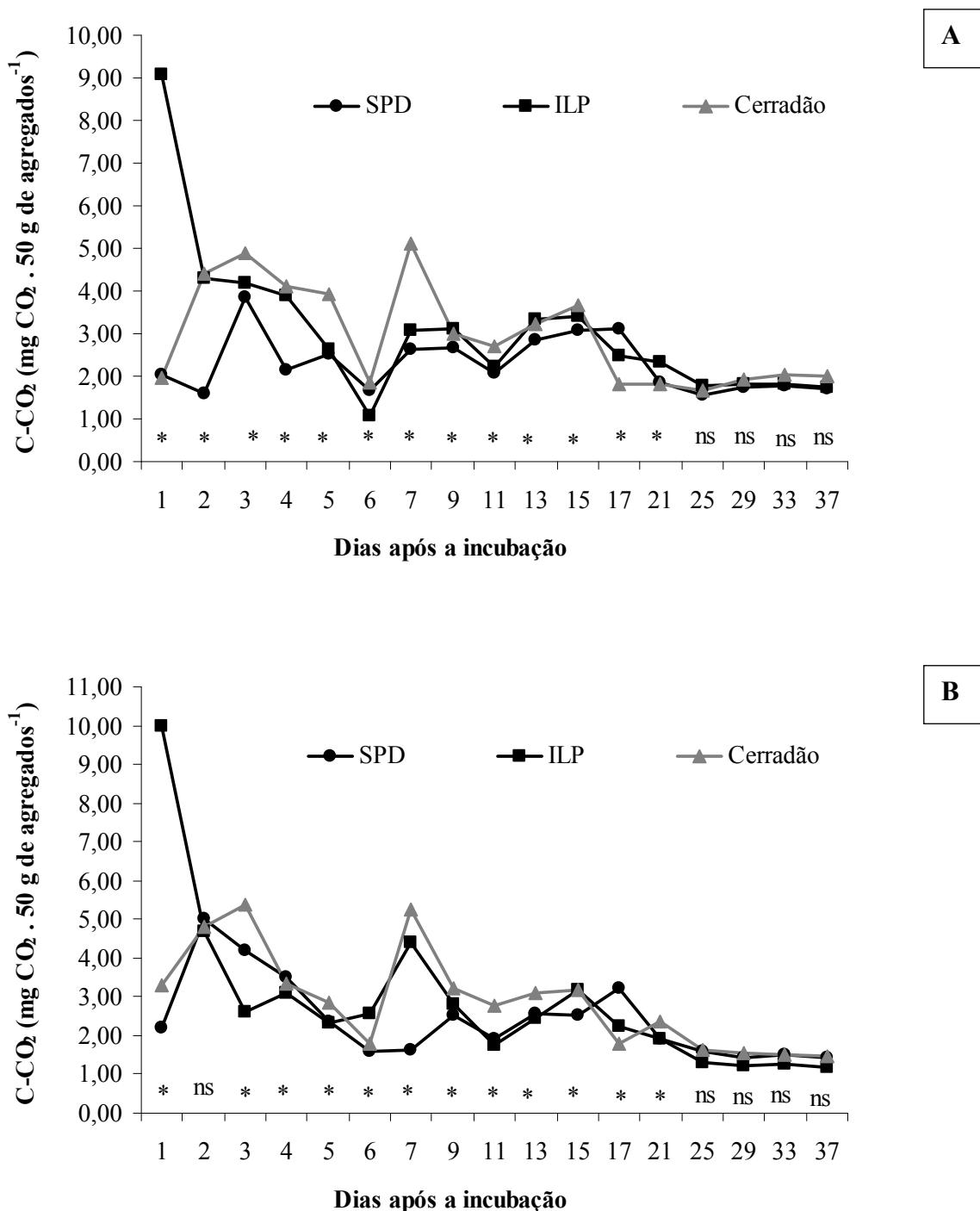
Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, foi analisado como delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três sistemas de uso do solo – tratamentos (SPD, ILP e Cerradão) com 4 repetições cada. Os sistemas de uso do solo avaliados estão sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas,

diferindo apenas no sistema de uso da terra (LOSS, 2011). Os resultados foram submetidos à análise de variância, aplicando o teste F e os valores médios, se significativos, comparados entre si pelo teste LSD-student a 5 %. Para a evolução diária de C-CO₂, realizou-se análise de variância, com aplicação do teste F e teste LSD-student a 5%, para cada dia de avaliação (fator tempo) e para cada profundidade (0-5 e 5-10 cm) separadamente.

Resultados e Discussão

A área de ILP apresentou maiores valores de C-CO₂ (0-5 e 5-10 cm) logo após a incubação quando comparada às demais áreas (Figura 3). A maior liberação de C-CO₂ pela área de ILP pode ser devido à maior disponibilidade de C e N presente na fração leve livre (FLL) da matéria orgânica do solo (MOS) (LOSS et al., 2012b) e carbono facilmente oxidável (LOSS, 2011), associados a menor relação C/N entre as áreas avaliadas antes da incubação (Tabela 2). Somados a essas informações, ainda tem-se a presença de duas leguminosas (soja e feijão – Tabela 1), mais o uso da braquiária e dos dejetos bovinos deixados em superfície na rotação da ILP. Dessa forma, no sistema de ILP, o conjunto de fatores rotação de culturas, plantas de cobertura e pastejo dos animais compõem um sistema integrado de produção, que propicia maiores picos de C-CO₂ quando comparado com as demais áreas. No sistema de ILP, o uso da braquiária por meio da produção de palhada e de sua capacidade de exploração do solo por meio do sistema radicular, apresenta grande absorção e acúmulo de nutrientes (CRUSCIOL; BORGHI, 2007), sendo os mesmos liberados para o solo a partir da decomposição de sua palhada e rizodepozição. Este padrão acarreta em maior atividade microbiana resultando em aceleração da decomposição da MOS, com incorporação parcial do C presente em estruturas orgânicas dos microorganismos, sendo a maior parte liberada na forma de C-CO₂ (BALDOCK et al., 1992). As áreas de Cerradão e de SPD apresentaram padrão semelhante logo após a incubação (1º dia) (Figura 3).

Figura 3. Evolução diária de C-CO₂ nas amostras de agregados (A = profundidade de 0-5 cm e B = 5-10 cm) incubados até os 37 dias de avaliação, nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, Goiás. * = significativo pelo teste t-LSD a 5%; ns=não significativo pelo teste F a 5%. SPD = sistema plantio direto (girassol-milheto-soja-milho); ILP = integração lavoura-pecuária (milho-braquiária-feijão-algodão-soja).



Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 2. Carbono orgânico total (COT, g kg⁻¹), nitrogênio total (N, g kg⁻¹) e relação C/N antes e após a incubação dos agregados do solo nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Agregados do solo	Sistemas de uso do solo			
	SPD	ILP	Cerradão	CV(%)
	COT (0,0-0-5,0 cm)			
Antes da incubação	22,24 aC	24,57 aB	40,71 aA	5,45
Após a incubação	23,25 aC	25,53 aB	35,29 bA	6,25
CV(%)	9,21	10,25	6,81	
COT (5,0-10,0 cm)				
Antes da incubação	21,66 aB	21,42 aB	28,11 aA	6,21
Após a incubação	21,43 aB	19,56 aB	25,38 bA	7,33
CV(%)	11,23	12,35	6,99	
N (0,0-0-5,0 cm)				
Antes da incubação	2,84 aB	4,41 aA	4,32 bA	7,26
Após a incubação	3,36 aB	3,80 bB	5,59 aA	7,89
CV(%)	8,26	6,31	5,25	
N (5,0-10,0 cm)				
Antes da incubação	2,23 aB	2,71 aA	2,96 bA	8,23
Após a incubação	2,27 aC	2,70 aB	3,87 aA	6,25
CV(%)	8,88	9,52	4,23	
C/N (0,0-0-5,0 cm)				
Antes da incubação	7,83 aB	5,57 aC	9,42 aA	4,23
Após a incubação	6,92 aA	6,72 aA	6,31 bB	5,61
CV(%)	8,55	9,23	8,21	
C/N (5,0-10,0 cm)				
Antes da incubação	9,71 aA	7,90 aB	9,50 aA	6,32
Após a incubação	9,44 aA	7,24 aB	6,56 bC	5,22
CV(%)	9,57	8,59	7,25	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre os sistemas avaliados, para cada período de incubação, pelo teste t-LSD a 5% e, mesma letra minúscula na coluna não difere entre o período de incubação, para cada sistema avaliado, pelo teste t-LSD a 5%. CV=coeficiente de variação. SPD = sistema plantio direto (girassol-milheto-soja-milho); ILP = integração lavoura-pecuária (milho-braquiária-feijão-algodão-soja).

Fonte: Elaboração dos autores.

Com a maior disponibilidade de MOS para a microbiota do solo verificou-se que a área de ILP apresentou evolução de C-CO₂ cerca de sete vezes superior ao das outras áreas (Figura 3, 1º dia) (LOSS, 2011; LOSS et al., 2011; 2012b). Este padrão já foi relatado na literatura e é conhecido como efeito “priming”, em que a estimulação da atividade microbiana pela adição de resíduos orgânicos e/ou maior disponibilidade de MOS prontamente decomponível (menor relação C/N) favorece a aceleração da decomposição da MOS (KUZYAKOV;

FRIDEL; STAHR, 2000), aumentando a evolução de C-CO₂. Para as áreas de SPD e de Cerradão, a natureza mais recalcitrante da MOS (maior relação C/N (Tabela 2) e maiores teores da fração F3 (fração moderadamente resistente) na profundidade superficial do solo (LOSS, 2011) acarretam em menor a atividade microbiana (menores picos de C-CO₂ logo após a incubação) quando comparado com o sistema de ILP.

No sistema de ILP, independente da classe de agregado avaliada (8,0–2,0; 2,0–1,0; 1,0–0,5;

0,5–0,25 e 0,25–0,105 mm), Loss et al. (2011) encontraram maiores teores de C e N no sistema de ILP quando comparados com a área de SPD. Portanto, no sistema de ILP, os maiores valores de C e N, assim como de C-CO₂, são decorrentes da conjugação dos fatores rotação de culturas, plantas de cobertura (braquiária) mais dejetos bovinos e do uso das leguminosas soja e feijão em comparação a área de SPD, que utiliza apenas a soja na rotação de culturas (Tabela 1).

Observando-se a dinâmica da evolução do C-CO₂ no tempo de incubação, aos 7 dias, nos três sistemas avaliados, ocorreu aumento na liberação de C-CO₂, sendo maior na área de Cerradão, seguida das áreas em ILP e SPD e, a partir do 25º dia ocorreu a estabilização da respiração microbiana (Figura 3). Estes resultados são corroborados por Farias et al. (2005) que avaliando a evolução do C-CO₂ de Latossolo Vermelho-Amarelo até 65 dias de incubação observaram que entre o 25º e 30º dia ocorreu a estabilização da atividade microbiana.

As maiores liberações de C-CO₂ verificados aos 7 dias (Figura 3) podem ser decorrentes da morte de alguns microorganismos, pois a evolução de C-CO₂ foi gradativamente reduzindo do 4º até o 6º dia. Com a morte dos microorganismos possivelmente estes serviram de alimento para os remanescentes (GONÇALVES et al., 2002), originando os maiores valores de liberação de C-CO₂ oriundos da atividade microbiana. Pode-se observar que este padrão se repete ao longo das avaliações, pois do 7º ao 11º dia verificou-se diminuição das emissões de C-CO₂, com posterior aumento do 13º para o 15º dia, até a estabilização das emissões de C-CO₂ a partir do 25º dia.

O maior acúmulo de C-CO₂ (maior atividade microbiana) ocorreu na área de Cerradão e na área

de ILP (0-5 cm). Na profundidade de 5-10 cm, a área de Cerradão apresentou o maior acúmulo de C-CO₂, seguida das áreas em ILP e SPD, respectivamente (Tabela 3). Estes maiores acúmulos de C-CO₂ estão diretamente relacionados ao aporte de material vegetal nas áreas (massa seca de braquiária = 11.300 Kg ha⁻¹) no sistema de ILP e do milheto = 7.800 Kg ha⁻¹ no SPD) e sua qualidade, sendo que os teores de C e N presentes na fração leve livre (FLL) da MOS extraída com NaI, na área de Cerradão apresentou valores de 162,66 e 15,08 g kg⁻¹ em 49,88 g kg⁻¹ de massa da FLL; no sistema de ILP encontrou-se 187,83 e 18,21 g kg⁻¹ em 26,17 g kg⁻¹ de massa da FLL e, no SPD observaram-se 156,75 e 16,57 em 17,49 g kg⁻¹ de massa da FLL, ambos nos macroagregados (8,00 – 4,00 mm) da camada de 0-10 cm (LOSS et al., 2012b).

Somados aos aportes e qualidade do material vegetal nos sistemas avaliados, tem-se os maiores teores de COT e N nas áreas de Cerradão e de ILP, em comparação aos teores encontrados na área de SPD (Tabela 2). Em relação aos estoques totais de C e N, verificaram-se maiores valores de C na área de Cerradão e ILP (51,45 e 52,52 Mg ha⁻¹, respectivamente) e menores valores para a área de SPD (44,75 Mg ha⁻¹) para a camada de 0,0-20,0 cm. Para os estoques de N nesta camada, a área de Cerradão apresentou os maiores valores, seguida das áreas de ILP e SPD (4,72; 3,11 e 2,76 Mg ha⁻¹, respectivamente) (LOSS, 2011).

Resultados semelhantes foram observados em estudo sobre o C mineralizável em Latossolo Vermelho em área de plantio direto no Cerrado (GO), onde Rosa et al. (2003) verificaram na área de Cerrado (floresta nativa de Cerradão) os maiores valores de C mineralizável (C-CO₂), sobretudo até 30 cm de profundidade, tanto para agregados maiores quanto para menores que 250 mm.

Tabela 3. Acúmulo* de C-CO₂ (mg CO₂ 50g de agregados⁻¹) durante todo o período de incubação dos agregados do solo nos diferentes sistemas de uso do solo em Montividiu, GO.

Camada avaliada (cm)	Sistemas de uso do solo			
	SPD	ILP	Cerradão	CV(%)
0,0-5,0	78,49 B	95,08 A	92,87 A	12,23
5,0-10,0	77,55 C	82,60 B	88,83 A	11,25

*Médias de quatro repetições. Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste t-LSD ($p < 0,05$). CV=coeficiente de variação. SPD = sistema plantio direto (girassol-milheto-soja-milho); ILP = integração lavoura-pecuária (milho-braquiária-feijão-algodão-soja).

Fonte: Elaboração dos autores.

Através da análise da Tabela 2, verifica-se uma tendência de aumento para os teores de COT (0-5 cm) em relação ao período de incubação, sendo verificado aproximadamente um aumento de 4% nos teores de COT para as áreas de SPD e ILP após a incubação, e na área de Cerradão foi observado padrão inverso, com valores de COT estatisticamente menores após a incubação (0-5 e 5-10 cm). Para o N, a área de Cerradão apresentou maiores teores após a incubação (0-5 e 5-10 cm) e as áreas em SPD e ILP não diferiram entre as épocas de incubação, com exceção da área de ILP, que apresentou menores teores de N na profundidade de 0-5 cm, após a incubação.

A tendência do aumento de COT após a incubação nas áreas cultivadas pode ser devido ao ataque dos microorganismos a formas de C mais estáveis, que estavam protegidas no interior dos macroagregados. Avaliando a evolução de C-CO₂ de solos de várzeas no Sul da China, Zhang, Li e Pan (2006) realizaram o fracionamento isotópico da MOS antes e após a incubação do solo. Os autores observaram que com o aumento do tempo da incubação, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ tiveram um enriquecimento isotópico, sendo este padrão atribuído ao ataque de formas de C mais estáveis pela atividade microbiana. Provavelmente, na área de Cerradão, a maior disponibilidade de material vegetal oriundo da própria vegetação, tais como o conteúdo de matéria orgânica leve e fração leve livre da MOS (LOSS et al., 2012b), que foi incubado juntamente com os agregados, serviu de alimento para os microorganismos, sendo desta

forma, verificado um decréscimo dos teores de COT após a incubação.

Os maiores teores de COT e N foram encontrados na área de Cerradão antes e após a incubação, com exceção ao N antes da incubação, onde a área de ILP não diferiu da área de Cerradão (Tabela 2). Este padrão está relacionado à intensa deposição de resíduos vegetais (serapilheira) e a ausência de influência antrópica nesta área. Dessa forma, tem-se maiores valores da FLL da MOS, da matéria orgânica leve (MOL) em água e da matéria orgânica particulada (MOP) (LOSS et al., 2012a,b; LOSS, 2011), o que acarretará em maiores teores de COT e N nos agregados (Tabela 2) e nas classes de agregados (LOSS et al., 2011).

Entre as áreas cultivadas, o sistema de ILP apresentou maiores teores de COT (0-5 cm) e N (0-10 cm) antes e após a incubação, com exceção da profundidade de 0-5 cm, após a incubação, onde não foram observadas diferenças, em comparação a área de SPD (Tabela 2).

O sistema de ILP, sob intensidades moderadas de pastejo, combina a ausência de revolvimento do solo e o elevado aporte de resíduos vegetais pela utilização de lavouras e pastagens (ANGHINONI et al., 2011; LOSS et al., 2011). Este padrão corrobora os maiores teores de COT e de N encontrados na área de ILP quando comparados com a área sem pastejo (SPD). Além do efeito benéfico decorrente da rotação de cultura utilizada na área de ILP, que pode acarretar em balanço positivo de N (soja e

feijão), que por sua vez está atrelado à adição de carbono, permitindo a incorporação conjunta destes elementos à MOS (SISTI et al., 2004; URQUIAGA et al., 2005; JANTALIA et al., 2007).

Portanto, o sistema de ILP está sendo mais eficiente em aumentar os teores de COT e N nos macroagregados do solo (Tabela 2) e nas diferentes classes de agregados (8,0–2,0; 2,0–1,0; 1,0–0,5; 0,5–0,25 e 0,25–0,105 mm, Loss et al. (2011)) quando comparado com o SPD. E, esses maiores teores de C e N estão favorecendo a agregação do solo nesta área, culminando em agregados mais estáveis em água, e consequentemente, menores valores de densidade do solo (LOSS et al., 2011). Segundo esses autores, no sistema de ILP foram encontrados maiores teores de COT nos agregados de 8,0–2,0 mm (36,92 g kg⁻¹); 2,0–1,0 mm (31,87 g kg⁻¹); 1,0–0,5 mm (31,60 g kg⁻¹); 0,5–0,25 mm (28,86 g kg⁻¹) e 0,25–0,105 mm (28,06 g kg⁻¹) quando comparado com o SPD (30,30; 26,49; 23,83; 22,61 e 23,62 g kg⁻¹, respectivamente para 8,0–2,0; 2,0–1,0; 1,0–0,5; 0,5–0,25 e 0,25–0,105 mm).

Os menores valores da relação C/N foram encontrados na área de ILP, antes da incubação, e na área de Cerradão, após a incubação (Tabela 3). Na área de ILP, os menores valores são decorrentes do uso de duas leguminosas na rotação de culturas e dos maiores teores de frações mais lábeis da MOS (FLL, MOL e MOP) (LOSS, 2011; LOSS et al. 2012b). Na área de Cerradão, os menores valores estão relacionados à diminuição dos teores de COT e ao aumento dos teores de N, ambos após a incubação.

De forma geral, as maiores liberações (Figura 3) e acúmulos de C-CO₂ (Tabela 3) associados aos maiores teores de COT e N (Tabela 2) verificados no sistema de ILP quando comparado ao SPD, permitem inferir que há maior quantidade de carbono potencialmente mineralizável no sistema de ILP. E, o maior acúmulo C-CO₂ no sistema de ILP irá acarretar maior ciclagem de carbono e nutrientes para as culturas comerciais implantadas

(D'ANDRÉA et al., 2002). Essas diferenças estão diretamente relacionadas com a intensa ciclagem de raízes no sistema de ILP, devido ao conjunto de fatores que esse sistema engloba, tais como a rotação de culturas, plantas de cobertura, pastejo bovino (associado aos dejetos bovinos deixados na superfície do solo) em comparação ao SPD.

Conclusões

O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) acarreta em maiores liberações e acúmulos de C-CO₂ quando comparado com a área de sistema plantio direto (SPD), culminando em maior quantidade de carbono potencialmente mineralizável na área de ILP.

A integração dos fatores rotação de culturas, plantas de cobertura e pastejo bovino no sistema de ILP aumenta os teores de carbono e nitrogênio nos macroagregados do solo em comparação a área de SPD.

Agradecimentos

À Fundação Agrisus pelo custeio do projeto de pesquisa, ao CNPq e a 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.

Referências

- ANGHINONI, 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.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. *Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto*. Ponta Grossa: AEACG/Inpag, 2011. p. 1-31.

- ASSIS JÚNIOR, S. L.; KAZUYA, M. C. M.; COUTO, L. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 35-41, 2003.

- BALDOCK, J. A.; OADES, J. M.; WATERS, A. G.; PENG, X.; VASSALLO, A. M.; WILSON, M. A. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state ^{13}C NMR spectroscopy. *Biogeochemistry*, Dordrecht, v. 16, n. 1, p. 1-42, 1992.
- BODDEY, R.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C. E.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; GIACOMINI, S. J.; URQUIAGA, S. C. S.; ALVES, B. J. R. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology*, Urbana, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010.
- BOSSUYT, H.; SIX, J.; HENDRIX, P. F. Aggregate-protected carbon in no-tillage and conventional tillage agroecosystems using carbon-14 labeled plant residue. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 66, n. 6, p. 1965-1973, 2002.
- BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, Germany, v. 19, n. 4, p. 269-279, 1995.
- CARVALHO, J. L. N. *Dinâmica do carbono e fluxo de gases do efeito estufa em sistemas de integração lavoura pecuária na Amazônia e no Cerrado*. 2009. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- 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 and Tillage Research*, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 175-186, 2010.
- CARVALHO, P. C. F. *Integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto*. 2007. Disponível em: <<http://www.agroredenoticias.com.br/textos.aspx>>. Acesso em: 22 jun. 2010.
- CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, ed. 100, p. 6, 2007.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 913-923, 2002.
- DAVIDSON, E. A.; BELK, E.; BOONE, R. D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology*, Urbana, v. 4, p. 217-227, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997.
- _____. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 312p.
- _____. Integração lavoura, pecuária e floresta. 2009. Disponível em: <www.cnpc.org.br/arquivos/integlavpecflo.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2010.
- FARIAS, E. P.; ZONTA, E.; SANTOS, G.; ASANTOS, G. A.; CANELLAS, L.; PCANELLAS, L. P. Aporte de carbono solúvel pelo sistema radicular de arroz e sua influência nos teores de substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 875-882, 2005.
- 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, MG, v. 35, n. 1, p. 161-169, 2011.
- FONTANA, A.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 6, p. 847-853, 2006.
- FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; WRUCK, F. J.; SKORUPA, L. A.; WINK, N. N.; GUISOLPHI, I. J.; CAUMO, A. L.; HATORI, T. *Integração lavoura-pecuária: alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu*. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 20 p. (Circular técnica, 77).
- GONÇALVES, A. S.; MONTEIRO, M. T.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana em amostras de solos secadas ao ar e reumecidas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 5, p. 651-658, 2002.
- 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 and Tillage Research*, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 97-109, 2007.
- KENNEDY, A. C.; SMITH, K. L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant Soil*, The Hague, v. 170, n. 1, p. 75-86, 1995.

- KUZYAKOV, Y.; FRIDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 32, n. 11-12, p. 1485-1498, 2000.
- LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, 2010.
- LIEBIG, M. A.; TANAKA, D. L.; KRONBERG, S. L.; SCHOLLJEGERDES, E. J.; KARN, J. F. Integrated crops and livestock in central North Dakota, USA: Agroecosystem management to buffer soil change. *Renewable Agriculture and Food Systems*, Cambridge, v. 27, n. 2, p. 115-124, 2012.
- LOSS, A. *Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado goiano*. 2011. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- 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. 1269-1276, 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 Goias State, Brazil. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 4, n. 8, p. 96-105, 2012a.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; BEUTLER, S. J.; ANJOS, L. H. C. Carbon, nitrogen and natural abundance of ^{13}C e ^{15}N of light-fraction organic matter under no-tillage system and crop-livestock integration in the Cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 34, n. 4, p. 468-474. 2012b.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmidas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 4, p. 913-922, 2010.
- MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 38, p. 133-146, 2009. Especial.
- MACHADO, P. L. A. O. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.
- MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURRI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S. S.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 209-248.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. Ponte Nova: D & M Gráfica e Editora Ltda, 2005. 107 p.
- ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférrico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 911-923, 2003.
- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lâbeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.
- SILVA, R. F.; GUIMARÃES, M. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1277-1283, 2011.
- SIQUEIRA NETO, M. *Estoques de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no Cerrado em Rio Verde, GO*. 2006. Tese (Doutorado em Agricultura) – Pós-Graduação no Centro Nuclear de Energia na Agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. *Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental*. Brasília: Embrapa, 1994. 142 p.
- 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 and Tillage Research*, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.
- SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetidos a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1829-1836, 2009.

- SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 188 p.
- TEIXEIRA, L.; LA SCALA JÚNIOR, N.; LOPES, A. Fluxo de CO₂ do solo após aração e escarificação em diferentes condições. *Holos Environment*, Rio Claro, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2010.
- TRACY, B. F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop-livestock system in Illinois. *Crop Science*, v. 48, n. 3, p. 1211-1218, 2008.
- URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Manejo de sistemas agrícolas para o seqüestro de carbono no solo. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Org.). *Conhecimentos e técnicas avançadas para o estudo dos processos da biota no sistema solo-planta*. Brasília: Embrapa, 2005. p. 257-273.
- VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication Soil Science And Plant Analysis*, Philadelphia, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.
- ZHANG, X. H.; LI, L. G.; PAN, G. X. Topsoil organic carbon mineralization and CO₂ evolution of three paddy soils from South China and the temperature dependence. *Journal of Environmental Sciences*, Beijing, v. 19, n. 3, p. 319-326, 2006.
- ZIBILSKY, L. M. Carbon mineralization. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 835-863. (Book Series, 5).