

Carbono orgânico e nitrogênio do solo sob alturas de pastejo da *Urochloa ruziziensis* em sistema agropastoril

Soil organic carbon and nitrogen under heights of Urochloa ruziziensis grazing in agro-pastoral system

Gilberto Alves Ferreira^{1*}, Sérgio José Alves², Paulo Sérgio Rabello de Oliveira³, Antonio Carlos Torres da Costa³ e Antonio Nolla⁴

¹Colégio Agrícola Estadual de Umuarama, Umuarama, PR, Brasil. *Autor para correspondência: gfyferreira@hotmail.com.

²Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, PR, Brasil.

³Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR, Brasil.

⁴Universidade Estadual de Maringá, Umuarama, PR, Brasil.

Submissão: 23/12/2017 | Aceite: 01/03/2019

RESUMO

A matéria orgânica do solo é essencial dentro do sistema agrícola e seu acúmulo pode ser favorecido pelo aporte de resíduos vegetais sobre o solo. Objetivou-se avaliar o efeito da altura de pastejo de *Urochloa ruziziensis* nos teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio do solo, em sistema agropastoril, em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Para o estudo foram coletadas amostras de solo entre os anos de 2010 e 2012. O delineamento foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas no tempo e cinco tratamentos, constituídos pelas alturas de pastejo: 10; 20; 30 e 40 cm e mais uma área não pastejada de *Urochloa ruziziensis*, e três repetições. Determinou-se nas camadas do solo (0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade) o teor e estoque de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado, carbono orgânico associado aos minerais, teor e estoque de nitrogênio total e o teor de nitrogênio mineral. As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ambos, ao nível de 5% de probabilidade. Os teores e estoques de carbono orgânico total e suas respectivas frações, os teores de nitrogênio total e mineral do solo, além, dos estoques de nitrogênio total do solo, não foram alterados pelas alturas de pastejo e a área não pastejada. Todavia, na camada 0-10 cm, ocorreu aumento dos teores e estoques de carbono orgânico total, carbono orgânico associado aos minerais e redução do carbono orgânico particulado do solo, e, também, aumento dos teores e estoques de nitrogênio total entre o primeiro e o segundo ano de condução, sob plantio direto. Houve aumento dos teores de nitrogênio mineral após a colheita da soja para todas as camadas do solo.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos vegetais, plantio direto, pastagem, *Glycine max*.

ABSTRACT

Soil organic matter is essential within the agricultural system and its accumulation can be favored by the contribution of vegetal residues on the soil. The objective is to evaluate the effect of the grazing height of *Urochloa ruziziensis* in levels and stocks of soil organic carbon and nitrogen, in agro-pastoral system, in Distrophic Red Latosol typically. For this study, soil samples were collected between the years 2010 and 2012. The design was on randomized blocks in split plots of time and five treatments, constituted of grazing heights: 10; 20; 30 and 40 cm and one more area without grazing of *Urochloa ruziziensis*, and three repetitions. It was determined in soil layers (0-10, 10-20 e 20-30 cm depth) the level and stock of total organic carbon, particularly carbon, carbon associated with minerals, level and stock of total nitrogen and content of mineral nitrogen. The variables studied were submitted to variance analysis by the F test and the means were compared by the Tukey test, both at 5% probability level. The levels and stocks of total organic carbon in soil and their fractions, the levels of total nitrogen and mineral soil beyond stocks of total nitrogen soil, were not changed by the grazing heights and the area grazed. However, in the 0-10 cm layers, there was an increase in the contents and total organic carbon, organic carbon associated with the minerals and the reduction of the particulate organic carbon of the soil, as well as the increase of the total nitrogen contents between the first and second year of driving, under no-tillage. There was an increase of mineral nitrogen after the soybean harvest to all layers of the soil.

KEYWORDS: vegetable waste, no-tillage, pasture, *Glycine max*.

INTRODUÇÃO

Os sistemas que integram a produção de grãos de culturas anuais com produção animal, de forma rotacionada, são comumente reconhecidos como sistema integrado de produção agropecuária ou sistema agropastoril (KUNRATH et al. 2015). Este sistema produtivo vem sendo implementado em muitas regiões brasileiras e contribuído para a substituição de sistemas pouco sustentáveis, sendo uma alternativa para minimizar os impactos sobre os recursos naturais e, ou, a recuperação de áreas degradadas e marginais dentro das propriedades (CARVALHO et al. 2016).

A integração entre as atividades produtivas dentro da propriedade rural tem oferecido benefícios como acréscimo de matéria orgânica ao solo via resíduos vegetais e dejetos de animais, melhoria de alguns atributos químicos, físicos e biológicos do solo, incremento de produtividade e aumento da renda (CORDEIRO et al. 2015).

A matéria orgânica do solo está ligada a vários processos no ambiente, destacando a estabilidade dos agregados do solo, a infiltração e retenção de água e, também, como fonte de energia para a atividade biológica (VILELA & MENDONÇA 2013), representando, desta forma, um componente essencial dentro do sistema agrícola. O aumento do seu teor no solo está relacionado ao maior aporte de resíduos vegetais sobre a superfície, além de favorecer a maior ciclagem de nutrientes das camadas mais profundas (FERREIRA et al. 2018).

Em sistema agropastoril, a rotação de forrageiras com lavouras apresenta-se como importante alternativa para a acumulação de resíduos vegetais sobre a superfície do solo (COSTA et al. 2015). Ademais, a introdução de braquiária na entressafra do cultivo da soja, em sistema de plantio direto, pode favorecer o acúmulo de carbono orgânico no solo (ROSSI et al. 2012a). SALTON et al. (2005), observaram que a utilização de pastagens em sistemas de produção, em relação a lavouras em plantio direto, podem contribuir na retenção de carbono no solo em taxas médias de 0,43 Mg ha⁻¹, quando em rotação com soja, entre 0,65 a 1,11 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, quando isolados.

A sustentabilidade dos sistemas agropecuários está ligada diretamente à qualidade do solo, entretanto sua mensuração é difícil e complexa devido aos processos e componentes envolvidos no ambiente edáfico (VEZZANI & MIELNICZULK 2009). Em relação aos possíveis indicadores para avaliar a qualidade do solo, diversos são mencionados na literatura científica a fim de englobar melhor as condições edafoclimáticas, usos e manejos do solo (VEZZANI & MIELNICZULK 2009, CARVALHO et al. 2016, FREITAS et al. 2017, MASCARENHAS et al. 2017, MELO et al. 2017).

No estudo dos indicadores da qualidade do solo, além do conhecimento dos teores totais de matéria orgânica é importante avaliar as suas diferentes frações (ROSCOE et al. 2006). Entre os métodos para quantificar as frações dos compartimentos da matéria orgânica, tem-se o granulométrico, correspondente às frações do carbono orgânico particulado e do carbono orgânico associado aos minerais do solo (CAMBARDELLA & ELLIOT 1992). A determinação da fração do carbono orgânico particulado pode auxiliar na avaliação da qualidade do solo, pois, esta fração em comparação ao carbono orgânico total do solo, é mais sensível a mudanças no manejo do solo, com destaque para sistemas com maior aporte de resíduos vegetais (BAYER et al. 2004, ROSSI et al. 2012b).

GUARESCHI et al. (2013), trabalhando com sistema de plantio direto, encontraram redução dos teores e os estoques do carbono orgânico particulado e aumento do carbono associado aos minerais em função do tempo de adoção do sistema. LOSS et al. (2009), verificaram ser mais apropriado a utilização do carbono orgânico particulado em relação ao carbono orgânico total para mostrar diferenças provenientes do efeito dos sistemas de uso do solo na profundidade de 0-5 cm, na estação do verão.

Desta forma, o fracionamento da matéria orgânica do solo é ferramenta útil em estudos relacionados à estabilização da matéria orgânica por interação organo-mineral e proteção física (CONCEIÇÃO et al. 2013), responsáveis pela sustentabilidade e qualidade do solo.

Objetivou-se avaliar o efeito da altura de pastejo de *Urochloa ruziziensis* nos teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio do solo, em sistema agropastoril, em Latossolo Vermelho Distrófico típico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido utilizando-se amostras de solo coletadas nos anos de 2010 a 2012, do experimento de integração lavoura-pecuária, na área da Fazenda Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), no município de Xambê, PR. O clima é do tipo Cfa, segundo classificação de Köppen (IAPAR 1987). A temperatura média mensal no período foi de 22,3 °C (março/2010 a março/2012), com média mínima de 13,0 °C no mês de junho e média máxima de 31,9 °C no mês de fevereiro. A precipitação pluviométrica anual foi de 1602 mm (média dos anos 2010 e 2011). Os dados foram copiados da Estação

Meteorológica do IAPAR, localizada no município de Umuarama, PR. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (SANTOS et al. 2018), e os teores de areia, silte e argila estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Granulometria do Latossolo Vermelho Distrófico típico da área experimental.

Table 1. Rhodic Hapludox1 particle size of for the experimental area.

Profundidade (cm)	Areia	Silte	Argila
	-----g kg ⁻¹ -----		
0-10	870	30	100
10-20	860	20	120
20-50	830	10	160

¹USDA (1999). Fonte: Adaptado de FIDALSKI et al. (2013).

A amostragem de solo foi realizada no início de outubro de 2010, após o pastejo de inverno e antes da semeadura da cultura da soja. As características químicas do solo foram analisadas segundo métodos descritos em PAVAN et al. (1992) e apresentou os seguintes resultados: pH CaCl₂ (0,01 mol L⁻¹): 5,1; 5,2 e 5,2; Fósforo (Mehlich-1): 39,9; 12,0 e 4,0 mg dm⁻³; H+Al (Hidrogênio + Alumínio): 2,7; 2,6 e 2,6 cmol_c dm⁻³; Al⁺³ (Alumínio): 0,01; 0,02 e 0,05 cmol_c dm⁻³; K⁺ (Potássio): 0,4; 0,2 e 0,1 cmol_c dm⁻³; Ca⁺² (Cálcio): 1,6; 1,6 e 1,3 cmol_c dm⁻³; Mg⁺² (Magnésio): 0,8; 0,6 e 0,7 cmol_c dm⁻³, nas camadas 0-10; 10-20 e 20-30 cm de profundidade do solo, respectivamente. As análises foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, PR.

Antes do experimento, a área foi cultivada com aveia no inverno e soja no verão. A área do experimento apresentava 13,5 ha, composta por 15 piquetes. Cada unidade experimental apresentava 1,0 ha para os piquetes pastejados e 0,5 ha para os não pastejados. Estes foram divididos com cerca elétrica no período de inverno, sendo retiradas durante o cultivo da soja.

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos apresentavam quatro alturas de pastejo de *Urochloa ruziziensis*: 10; 20; 30 e 40 cm, e mais um tratamento controle de *Urochloa ruziziensis* sem pastejo (SP). Estes tratamentos foram avaliados em dois anos agrícolas consecutivos de integração sob plantio direto, com pastejo no inverno da braquiária e cultura de soja no verão.

No mês de março, dos anos de 2010 e 2011, foi implantada a pastagem de *Urochloa ruziziensis*. A adubação nitrogenada foi realizada aos 40 dias após a semeadura, com a dose de 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio (VILELA et al. 1998). No mês de maio ocorreu à entrada dos animais na área experimental e a saída foi no fim de agosto e início de setembro para os anos de 2010 e 2011, respectivamente. O ajuste das alturas da pastagem foi realizado em sistema de pastejo de lotação contínua, com carga variável (put-and-take) (MOTT & LUCAS 1952). Foram utilizados bovinos da raça Purunã, com dois animais fixos em cada unidade experimental, definidos como “testers” e um número variado de animais reguladores.

Semanalmente foi aferida 50 pontos para a determinação da altura média da pastagem em cada piquete pastejado, utilizando o método do “sward stick” (BARTHAM 1985), assim como, a realização do ajuste da carga animal em cada tratamento por meio da entrada ou saída de animais reguladores.

A *Urochloa ruziziensis* foi dessecada após a retirada dos animais do pastejo de inverno, utilizando-se 2,4 L do ingrediente ativo Glifosato + 0,5% de Ácido bórico, nos dias 18 e 19 de setembro, nos anos de 2010 e 2011, respectivamente. Posteriormente, a cultura da soja foi semeada em 19 de outubro, para ambos os anos de 2010 e 2011. A cultivar utilizada foi a BMX Potência RR, com ciclo semiprecoce e hábito de crescimento indeterminado. No momento da semeadura foi utilizada a adubação de base com 250 kg ha⁻¹ de superfostato simples e, aos 30 dias do plantio, foi aplicado 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio em cobertura (EMBRAPA 2013). O espaçamento utilizado foi de 45 cm entre linhas, com 22 e 18 sementes por metro linear, respectivamente, nos anos de 2010 e 2011.

No ano de 2010, as sementes de soja para o plantio foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5079) e *B. elkanii* (SEMIA 587). O tratamento químico das sementes foi realizado com inseticida Imidacloprido (1,2 g kg⁻¹) e fungicida Carboxina (0,6 g kg⁻¹) + Tiram (0,6 g de i.a. kg⁻¹).

Os teores e estoques de carbono e nitrogênio total do solo foram avaliados após a *Urochloa ruziziensis* pastejada (outubro/2010) e após a colheita da soja (março/2012). O teor de nitrogênio mineral do solo foi avaliado após a *Urochloa ruziziensis* pastejada (outubro/2010 e setembro/2011) e logo após a colheita da soja (março/2011 e março/2012). Foram coletadas, com auxílio de um trado de caneca, um total

de dez amostras por parcela para formar uma amostra composta representativa, retiradas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade do solo. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas ao Laboratório, secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm para as análises. O carbono orgânico total (COT) do solo foi determinado segundo o método de Walkley e Black (PAVAN et al. 1992). O nitrogênio total (NT) e nitrogênio mineral (NM) do solo foram determinados pelo método descrito por TEDESCO et al. (1995).

O fracionamento físico do carbono do solo foi realizado segundo CAMBARDELLA & ELLIOT (1992). O teor de carbono orgânico particulado do solo (COP) foi determinado pelo método de Walkley e Black, correspondente à fração lábil. O teor do carbono orgânico associado aos minerais (CAM), considerado não lábil, foi calculado pela diferença entre o valor do COT e o COP.

Os estoques de carbono e nitrogênio do solo foram calculados em função dos teores de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo, da espessura da camada do solo e da densidade do solo. As expressões utilizadas foram: $ECOT = (COT \times Ds \times e)/10$ e $ENT = (NT \times Ds \times e)/10$, em que: ECOT é o estoque de carbono orgânico total do solo em determinada profundidade ($Mg \text{ ha}^{-1}$); COT é o conteúdo de carbono orgânico total do solo ($g \text{ kg}^{-1}$); ENT é o estoque de nitrogênio total do solo em determinada profundidade ($Mg \text{ ha}^{-1}$); NT é o conteúdo de nitrogênio total do solo ($g \text{ kg}^{-1}$); Ds é a densidade do solo em cada profundidade ($kg \text{ dm}^{-3}$); e e é a espessura da camada considerada (cm). O estoque de carbono orgânico particulado (ECOP) foi calculado pela mesma expressão descrita anteriormente. O estoque de carbono orgânico associado aos minerais (ECAM) foi calculado pela diferença entre o valor do ECOT e o ECOP.

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância pelo teste F, no esquema de parcelas subdivididas no tempo, com dois fatores. O fator altura de pastejo foi considerado a parcela e o fator época de amostragem foi alocado na subparcela. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O programa utilizado para as análises estatísticas foi o SISVAR (FERREIRA 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura de pastejo (10; 20; 30 e 40 cm e área sem pastejo) e a época de coleta não apresentaram interações significativas ($p > 0,05$) para todas as variáveis em estudo nas profundidades amostradas, sendo, portanto, analisado cada fator isoladamente (Tabela 2).

As variáveis em estudo, também, não foram afetadas significativamente pelo fator altura de pastejo ($p > 0,05$). Já para o fator época de coleta das amostras de solo, observou-se efeito significativo ($p < 0,05$) apenas na profundidade de 0 a 10 cm (Tabela 2). Provavelmente, as quantidades de resíduos orgânicos deixados sobre a superfície do solo e o tempo de decomposição dos mesmos, nas áreas pastejadas e não pastejada, não foram suficientes para promover alteração diferenciada no conteúdo do carbono orgânico do solo. Estes resultados podem ser confirmados por CONTE et al. (2011) que não observaram efeito de ofertas de forragem (4; 8; 12 e 16%) de pastagem natural, além de uma área sem pastejo, sobre o ECOT do solo e das suas frações de ECOP e ECAM.

SOUZA et al. (2008), também, não constataram diferenças nos ECOT do solo entre as diferentes intensidades de pastejo (10; 20; 30 e 40 cm) e área sem pastejo, mesmo após seis ciclos de pastejo no inverno. Já para ECOP do solo, na profundidade de 0 a 5 cm, estes autores verificaram menor valor quando pastejado a 10 cm de altura em comparação aos tratamentos 20 e 40 cm e área sem pastejo, porém, entre 5 a 10 cm de profundidade não foi significativo. Em relação ao ECAM do solo, os mesmos não verificaram influência desses tratamentos.

BAYER et al. (2004), comparando os sistemas de plantio direto com o preparo convencional, na profundidade de 0-20 cm, não encontraram mudanças para matéria orgânica particulada do solo entre os sistemas de culturas em plantio direto que propiciam contínuo aporte de palha, porém, verificaram diferenças em relação ao preparo convencional. Os mesmos autores também não observaram mudanças na fração da matéria orgânica associada aos minerais nesta mesma camada, citando ainda que a ocorrência de alterações desta fração demande maior tempo de manejo para os sistemas envolvidos.

Observou-se na profundidade 0-10 cm que houve aumento ($p < 0,05$) dos valores de COT, ECOT, CAM e ECAM e redução do COP e ECOP do solo entre o início e final da avaliação (Figura 1). Estes resultados podem ser devido ao tipo de planta no cultivo (gramínea e leguminosa) e a quantidade de resíduos orgânicos na área em estudo. O aumento do carbono sugere entradas de resíduos orgânicos maiores que as saídas ao final da condução do experimento. A quantidade de carbono no solo é resultante da diferença entre a quantidade adicionada de resíduos vegetais ou esterco animais e a quantidade perdida por erosão e oxidação microbiana (SALTON et al. 2005). O acúmulo de matéria orgânica no solo

depende do aporte de carbono ser superior à taxa de decomposição dos resíduos vegetais (ROSCOE et al. 2006).

Tabela 2. Valores de F para as variáveis referentes ao carbono orgânico do solo, submetidas às alturas de pastejo e área sem pastejo (SP), em épocas de amostragem, sob plantio direto.

Table 2. F values for the soil organic carbon variables, submitted to grazing heights and area without grazing (SP), at sampling times, under no-tillage.

Variáveis	Valores de F				
	Altura de pastejo	Época	Interação Altura x Época	CV1 (%)	CV2 (%)
0-10 cm ⁽¹⁾					
COT	1,8114 ^{ns}	8,5839*	0,0485 ^{ns}	8,54	7,88
ECOT	1,4120 ^{ns}	11,3260**	0,0700 ^{ns}	10,26	7,64
COP	2,3800 ^{ns}	9,4809*	0,8515 ^{ns}	9,86	12,78
ECOP	2,4259 ^{ns}	7,6782**	0,6902 ^{ns}	10,59	13,10
CAM	2,0890 ^{ns}	22,8070**	0,3710 ^{ns}	14,06	12,48
ECAM	1,7142 ^{ns}	26,1973**	0,4486 ^{ns}	15,53	12,14
10-20 cm					
COT	2,9307 ^{ns}	0,0032 ^{ns}	0,1400 ^{ns}	6,86	18,40
ECOT	3,0260 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	0,1181 ^{ns}	7,26	18,51
COP	0,1830 ^{ns}	4,2143 ^{ns}	0,1375 ^{ns}	21,06	20,44
ECOP	0,1409 ^{ns}	4,1717 ^{ns}	0,1415 ^{ns}	21,81	21,19
CAM	0,8934 ^{ns}	0,7260 ^{ns}	0,3011 ^{ns}	15,48	21,47
ECAM	1,0303 ^{ns}	0,6234 ^{ns}	0,2796 ^{ns}	15,53	21,28
20-30 cm					
COT	0,4420 ^{ns}	0,0333 ^{ns}	0,3030 ^{ns}	14,70	14,67
ECOT	0,4020 ^{ns}	0,1580 ^{ns}	0,3600 ^{ns}	15,78	14,76
COP	0,3510 ^{ns}	0,0682 ^{ns}	0,1038 ^{ns}	13,54	23,12
ECOP	0,4361 ^{ns}	0,1836 ^{ns}	0,0886 ^{ns}	12,87	22,86
CAM	0,3954 ^{ns}	0,0055 ^{ns}	0,5597 ^{ns}	21,31	18,00
ECAM	0,3658 ^{ns}	0,0593 ^{ns}	0,6211 ^{ns}	22,47	18,08

COT - carbono orgânico total; COP - carbono orgânico particulado; CAM - carbono orgânico associado aos minerais; ECOT - estoque de carbono orgânico total; ECOP - estoque de carbono orgânico particulado; ECAM - estoque de carbono orgânico associado aos minerais; ⁽¹⁾Profundidade da camada do solo; ^{ns}F não significativo a 5% de probabilidade; **F significativo de 1% de probabilidade; *F significativo de 5% de probabilidade; CV1(%) - coeficiente de variação referente a altura de pastejo; CV2(%) - coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Em estudo de FONTANA et al. (2011), verificaram na camada de 0-5 cm, teores de COT do solo semelhantes para as áreas de floresta, banana e mandioca entre as épocas de verão (março) e inverno (julho) do ano anterior, enquanto que na área de capoeira o maior valor foi no inverno. Por outro lado, na camada de 5-10 cm, esses autores observaram maiores valores de COT no verão (floresta e banana), corroborando com os resultados deste trabalho. Já BATISTA et al. (2013), trabalhando com sistema agropastoril, em solos com textura acima 300 g kg⁻¹ de argila, não observaram diferenças significativas nos teores de COT do solo entre épocas de coleta na estação seca e estação chuvosa, na profundidade de 0-10 cm, para as áreas de pasto/milho, milho+braquiária/algodão e algodão/soja. Segundo estes autores, em solos mais arenosos o carbono orgânico fica mais exposto ao ataque microbiano.

LOSS et al. (2009), trabalhando com sistemas de uso do solo: preparo convencional (milho/feijão), plantio direto (berinjela/milho), consórcio maracujá/*Desmodium* sp., uma área cultivada com figo e um sistema agroflorestal (SAF), concluíram que no sistema da área cultivado com figo e grama batatais (*Paspalum notatum*) nas entrelinhas, na profundidade 0-5 cm, houve maiores teores de COT, COP e CAM do solo no verão em comparação ao inverno. Por outro lado, na camada 5-10 cm de profundidade, os teores de COT e CAM do solo foram maiores no verão em relação ao inverno e o teor de COP do solo foi menor em comparação ao inverno, semelhante ao que ocorreu neste estudo.

Os maiores valores de COP e ECOP após a *Urochloa ruziziensis*, podem, também, estar relacionado à menor temperatura do solo no período de cultivo desta forrageira. BAYER et al. (2004), obtiveram resultados positivos do sistema de plantio direto com culturas estivais e outonais sobre a matéria orgânica

particulada em comparação ao preparo convencional com culturas estivais, referindo-se a este efeito, entre as possíveis causas, as maiores quantidades dos resíduos vegetais na superfície do solo, em associação com a diminuição da atividade microbiana pela redução da temperatura do solo. BATISTA et al. (2013), também, encontraram, na profundidade de 0-10 cm, menores teores de COP na época chuvosa em relação à época seca em áreas de integração pasto/milho e milho+braquiária/algodão. Estes autores justificam estes resultados de redução entre épocas devido à influência da maior precipitação associada às maiores temperaturas.

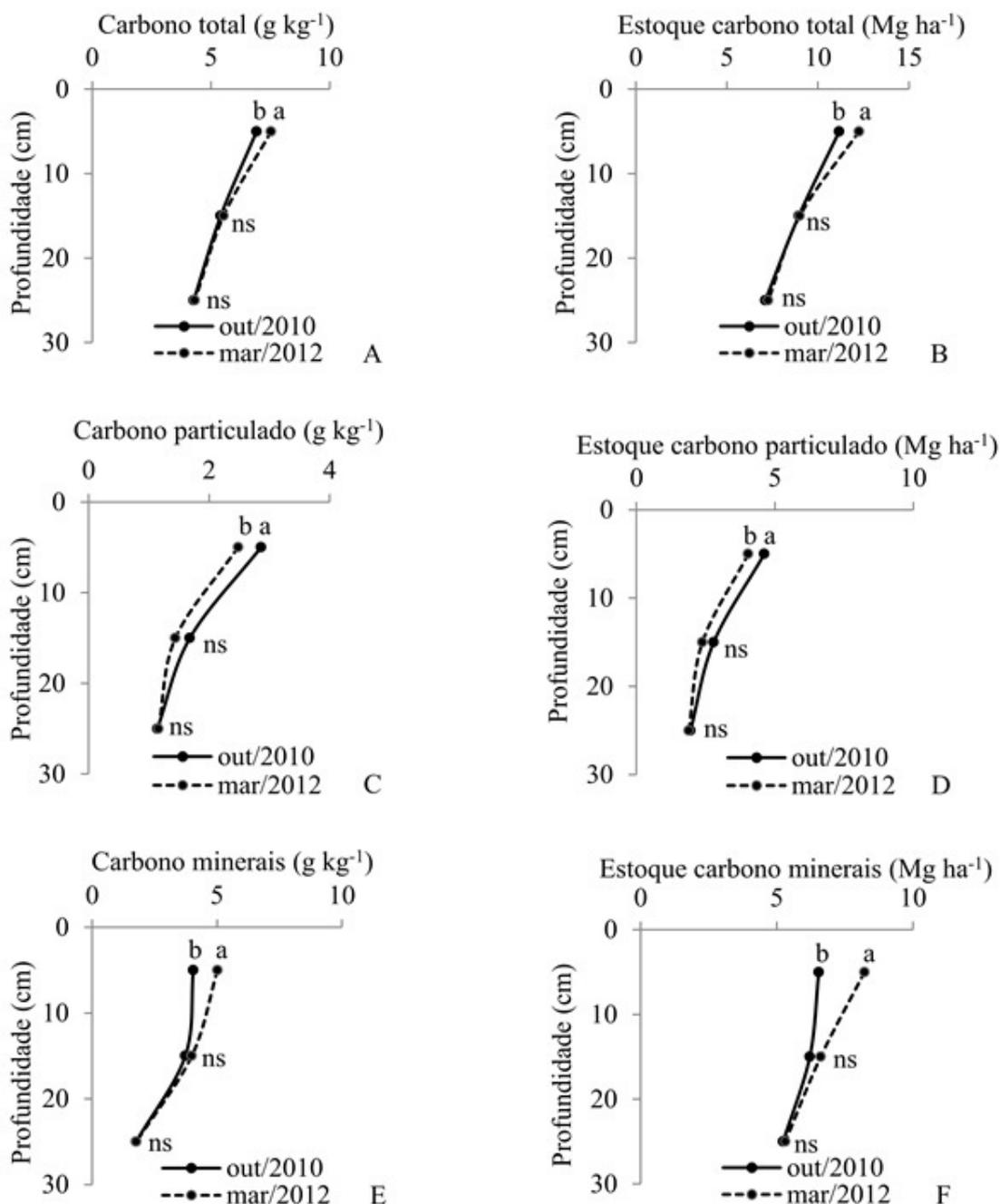


Figura 1. Valores médios de teores e estoques de carbono orgânico total (A e B), carbono particulado (C e D) e carbono associado aos minerais (E e F) do solo, nas profundidades 0-10; 10-20 e 20-30 cm, após a *Urochloa ruziziensis* (—●—) e após o a colheita da soja (---●---). Médias seguidas de letras diferentes na mesma profundidade diferem pelo teste F a 5% de probabilidade. nsF não significativo a 5% de probabilidade.

Figure 1. Average values of total organic carbon (A and B) contents, particulate carbon (C and D), and carbon associated with soilminerals (E and F) at depths 0-10; 10-20 and 20-30 cm, after the *Urochloa ruziziensis* (—●—) and after the soybean harvest (---●---). Means followed by different letters at the same depth differ by the F test at 5% probability. nsF is not significant at 5% probability.

O aumento do CAM e ECAM do solo ao final deste experimento pode ter sido favorecido pela decomposição do COP do solo. Os teores e estoques de COP tendem a diminuir e os teores e estoques de CAM tendem a aumentar em função do tempo de adoção de sistema de plantio direto (GUARESCHI et al. 2013). PRAGANA et al. (2012) verificaram, também, em experimento de longa duração que o aumento do tempo de uso do solo com plantio direto diminui o COP do solo e mantém o CAM do solo, nos sistemas de manejo testados, em comparação ao solo do Cerrado nativo. CARMO et al. (2012), em experimento com período de curta duração em solos do Cerrado, citam que mesmo com elevado aporte de matéria orgânica em sistema de plantio direto com gramíneas, o uso agrícola destes solos com a manutenção de resíduos culturais promove maior estabilidade do sistema, o que resulta em transformação de COP em CAM do solo.

Outra questão para acúmulo de CAM no sistema poderia estar relacionado à taxa de decomposição dos resíduos de *Urochloa ruziziensis*. Quando a adição de resíduos orgânicos é predominantemente constituída por material de baixa taxa de decomposição, como os de elevada relação C/N, ocorrerá o favorecimento do processo de humificação e, conseqüentemente, acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes nos compartimentos protegidos (MENDONÇA & LEITE 2006).

A maior parte dos resíduos orgânicos fica depositada na superfície do solo, com menor acúmulo de matéria orgânica em profundidade (FREIXO et al. 2002). Assim, pode ter ocasionado a não ocorrência de diferenças entre as épocas amostradas nas camadas abaixo de 10 cm. Em camadas mais profundas a fração de CAM do solo apresenta-se altamente estabilizada, sendo pouco alterada pelo sistema de manejo (CARMO et al. 2012).

Não foram observados efeitos de interação (altura x época) e do fator altura de pastejo sobre essas variáveis ($p > 0,05$). Já, para o fator época, foi significativo ($p < 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de F para as variáveis referentes ao nitrogênio do solo, submetidas às alturas de pastejo e área sem pastejo (SP), em épocas de amostragem, sob plantio direto.

Table 3. F values for the variables related to soil nitrogen, submitted to grazing heights and area without grazing (SP), at sampling times, under no-tillage.

Variáveis	Valores de F calculado				
	Altura de pastejo	Época	Interação Altura x Época	CV1 (%)	CV2 (%)
0-10 ⁽¹⁾ cm					
NT	0,4730 ^{ns}	9,3087*	0,3776 ^{ns}	13,56	11,10
ENT	0,3393 ^{ns}	11,6050**	0,4500 ^{ns}	15,40	10,83
NM ⁽²⁾	0,5560 ^{ns}	55,6120**	0,6447 ^{ns}	7,12	13,61
10-20 cm					
NT	0,4070 ^{ns}	0,4193 ^{ns}	0,3632 ^{ns}	13,98	16,88
ENT	0,5588 ^{ns}	0,3390 ^{ns}	0,4141 ^{ns}	14,15	16,69
NM ⁽²⁾	0,2050 ^{ns}	59,9587**	0,4420 ^{ns}	11,87	13,62
20-30 cm					
NT	0,6467 ^{ns}	0,6160 ^{ns}	0,9120 ^{ns}	15,66	11,50
ENT	0,7810 ^{ns}	0,0998 ^{ns}	0,7520 ^{ns}	16,29	12,96
NM ⁽²⁾	1,2620 ^{ns}	54,1920**	0,6206 ^{ns}	6,72	14,94

NT – nitrogênio total; ENT – estoque de nitrogênio total; NM – nitrogênio mineral; ⁽¹⁾Profundidade da camada do solo; ^{ns}F não significativo a 5% de probabilidade; **F significativo a 1% de probabilidade; *F significativo a 5% de probabilidade; ⁽²⁾Dados transformados (Raiz de x); CV1(%) - coeficiente de variação referente a altura de pastejo; CV2(%) - coeficiente de variação referente época e à interação altura x época.

Da mesma maneira como relatado anteriormente para o carbono do solo, provavelmente, a não ocorrência de efeito do fator altura de pastejo para os teores e estoques de nitrogênio total e mineral do solo estão relacionadas às quantidades de resíduos orgânicos e tempo de decomposição dos mesmos, visto que, o aumento de carbono do solo está intimamente relacionado com o aumento de nitrogênio do solo (RIBEIRO et al. 2011).

SOUZA et al. (2009), trabalhando com pastejo de aveia preta e azevém seguido do cultivo de soja, também, não verificaram influência das intensidades de pastejo (10, 20, 40 cm e SP) no ENT do solo no terceiro ano avaliado, mostrando-se significativo apenas no sexto ano, em função das adições dos resíduos

resultantes das diferentes alturas de pastejo.

Os maiores teores de NT e ENT do solo ocorreram na camada 0-10 cm ($p < 0,05$) ao final do experimento, após a colheita da soja, não ocorrendo mudanças nas outras camadas avaliadas ($p > 0,05$) (Figura 2). Isso se deve provavelmente a inclusão de leguminosas no sistema, que favorece o incremento de nitrogênio ao solo. De acordo com SILVA et al. (2011), o cultivo de leguminosas e gramíneas em rotação adicionaram nitrogênio ao solo, por meio da fixação biológica, o que proporciona importante contribuição deste nutriente ao sistema de rotação.

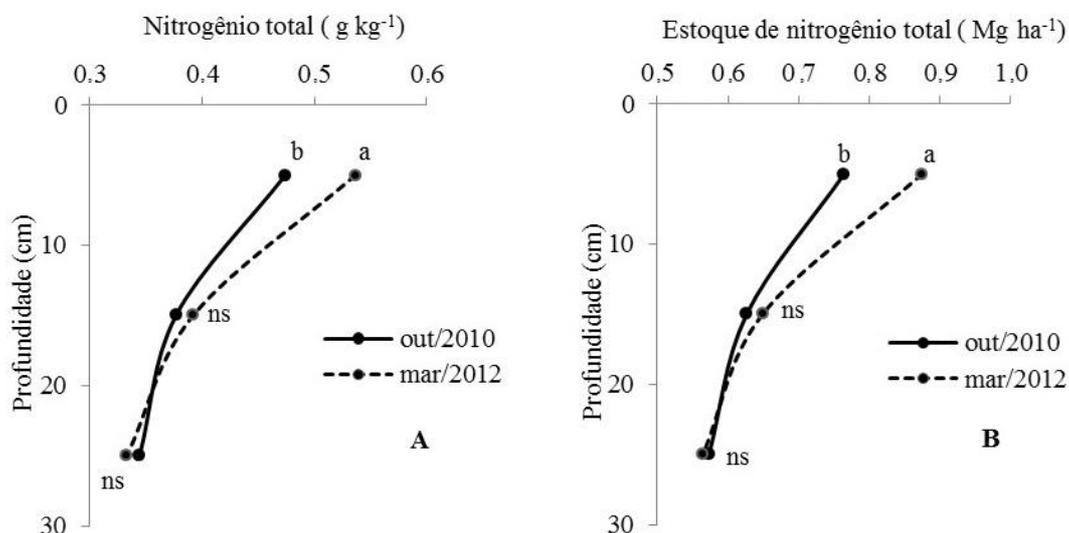


Figura 2. Valores médios de teores de nitrogênio total (A) e de estoques de nitrogênio total do solo (B), nas profundidades 0-10; 10-20 e 20-30 cm, após a *Urochloa ruziziensis* (—●—) e após a colheita da soja (---●---). Médias seguidas de letras diferentes na mesma profundidade diferem pelo teste F a 5% de probabilidade. nsF não significativo a 5% de probabilidade.

Figure 2. Mean values for total nitrogen (A) and total soil nitrogen (B), at depths 0-10; 10-20 and 20-30 cm, after the *Urochloa ruziziensis* (—●—) and after the soybean harvest (---●---). Means followed by different letters at the same depth differ by the F test at 5% probability level. nsF is not significant at 5% probability.

Pode-se verificar neste trabalho, na profundidade 0-10 cm, que o aumento do NT do solo foi acompanhado também pelo incremento do COT do solo (Figuras 1A e 1B e 2A e 2B). Conforme RANGEL & SILVA (2007) existem correlação positiva entre COT e NT do solo, o que corrobora com os resultados no presente trabalho. O manejo do solo com o sistema de plantio direto favorece a redução da taxa de perda de matéria orgânica e quando associado ao cultivo com leguminosas, é favorável a recuperação dos estoques de carbono total e nitrogênio total do solo, pela alta adição de carbono fotossintetizado e de nitrogênio fixado simbioticamente (LOVATO et al. 2004).

Mesmo com elevado dinamismo do nitrogênio mineral do solo (GONÇALVES et al. 2000), constatou-se, em todas as profundidades (Figura 3), maior teor de nitrogênio mineral do solo após a colheita da soja ($p < 0,05$).

Provavelmente, esses maiores valores nos teores NM do solo após a colheita da soja em relação à *Urochloa ruziziensis* podem ser explicados, em parte, pela fixação biológica do nitrogênio por esta cultura. GONÇALVES et al. (2000), trabalhando com milho cultivado em sucessão as culturas de inverno, durante seis anos, encontraram para leguminosas (ervilhaca comum e tremoço azul), as maiores quantidades de nitrogênio mineral no solo nas camadas 0-2,5 e 0-17,5 cm em relação ao pousio. Os autores verificaram, para ervilhaca comum e o tremoço, valores superiores a 25 e 22% superior ao pousio, respectivamente.

As leguminosas têm a vantagem de disponibilizar prontamente nutrientes para as culturas sucessoras devido à rápida decomposição de seus resíduos (SILVEIRA et al. 2005). Já os resíduos vegetais de alta relação C/N apresentam decomposição lenta devido à deficiência de nitrogênio e à presença de constituintes recalcitrantes em seus tecidos (MARQUES et al. 2000). A *Brachiaria ruziziensis* apresenta alta relação C/N (FERREIRA & LAMAS 2010) e a soja baixa relação (SILVA et al. 2006), assim, os resíduos culturais da soja apresentam rápida decomposição no solo, favorável à sua mineralização, podendo ter contribuído para o maior teor de nitrogênio mineral do solo após a sua colheita.

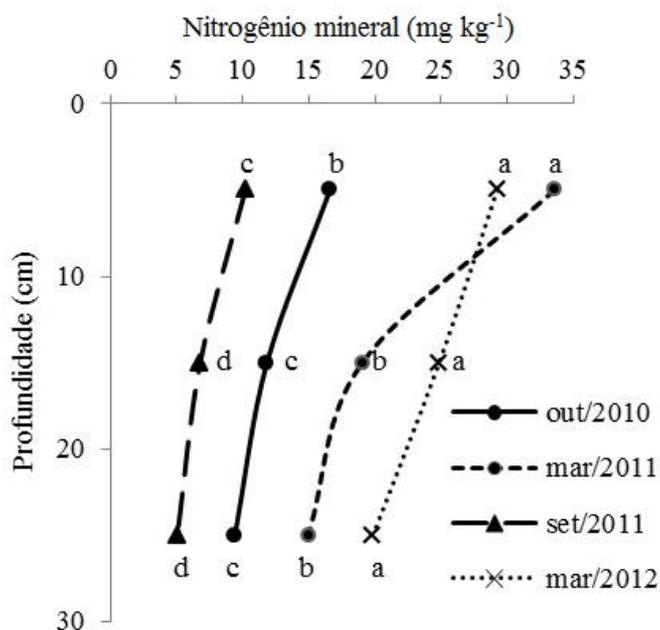


Figura 3. Valores médios de teores de nitrogênio mineral do solo, nas profundidades 0-10; 10-20 e 20-30 cm, após a *Urochloa ruziziensis*, outubro/2010 (—●—) e setembro/2011 (—▲—) e após a colheita da soja, março/2011 (—●—) e março/2012 (—x—). Médias seguidas de letras diferentes na mesma profundidade diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figure 3. Mean values for mineral nitrogen soil contents at depths 0-10; 10-20 and 20-30 cm, after *Urochloa ruziziensis*, October/2010 (—●—) and September/2011 (—▲—) and after the soybean harvest, March/2011 (—●—) and March/2012 (—x—). Means followed by different letters at the same depth differ by the Tukey test at 5% probability.

CONCLUSÃO

Os teores e estoques de carbono orgânico total do solo e suas frações de carbono particulado e associado aos minerais e, também, os teores de nitrogênio mineral e os teores e estoques de nitrogênio total do solo, nas profundidades 0-10; 10-20 e 20-30 cm, não foram afetados pelo manejo das alturas da *Urochloa ruziziensis*, com soja em sucessão, após dois anos consecutivos em sistema agropastoril.

Houve aumento nos teores e os estoques de carbono orgânico total, carbono orgânico associado aos minerais e nitrogênio total e redução nos teores e estoques do carbono orgânico particulado do solo, na profundidade 0-10 cm, entre o primeiro e o segundo ano de condução sob plantio direto.

Os teores de nitrogênio mineral do solo foram maiores após a colheita da soja em relação à época após o ciclo de cultivo com a *Urochloa ruziziensis*.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Agrônomo do Paraná-IAPAR (IAPAR/FINEP/SUSTAGRI, PR) e a Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE, que em cooperação possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho, com apoio nas atividades desenvolvidas e orientações na pesquisa. À Cocamar Cooperativa Agroindustrial, pelo apoio ofertado ao projeto.

REFERÊNCIAS

- BARTHAM GT. 1985. Experimental techniques: the HFRO sward stick. In: Biennial report of the hill farming research organization 1984/1985. Penicuik: Hill Farming Research Organization. p.29-30.
- BATISTA I et al. 2013. Teores e estoque de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado. Semina: Ciências Agrárias 34: 3377-3388.
- BAYER C et al. 2004. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira 39: 677-683.
- CAMBARDELLA CA & ELLIOT ET. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal 56: 777-783.
- CARMO FF do et al. 2012. Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas. Bioscience Journal 28: 420-431.
- CARVALHO JS et al. 2016. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de

- integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. Pesquisa Agropecuária Brasileira 51: 1131-1139.
- CONCEIÇÃO PC et al. 2013. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. Soil and Tillage Research 129: 40-47.
- CONTE O et al. 2011. Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 35: 579-587.
- CORDEIRO LAM et al. 2015. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. Cadernos de Ciência & Tecnologia 32: 15-53.
- COSTA NR et al. 2015. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 39: 852-863.
- EMBRAPA. 2013. Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja. 265p.
- FERREIRA ACB & LAMAS FM. 2010. Espécies vegetais para cobertura do solo: influência sobre plantas daninhas e a produtividade do algodoeiro em sistema plantio direto. Revista Ceres 57: 778-786.
- FERREIRA DF. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia 35: 1039-1042.
- FERREIRA JP et al. 2018. Atributos químicos e físicos de um latossolo em diferentes sistemas integrados de produção agropecuária. Boletim Indústria Animal 75: 1-17.
- FIDALSKI J et al. 2013. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico, após o primeiro período de pastejo contínuo de *Brachiaria ruziziensis*, em sistema integração lavoura-pecuária. Revista Brasileira de Ciência do Solo 37: 775-783.
- FONTANA A et al. 2011. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. Acta Scientiarum. Agronomy 33: 545-550.
- FREITAS L et al. 2017. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. Revista Unimar Ciências 26: 1-18.
- FREIXO AA et al. 2002. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 26: 425-434.
- GONÇALVES CN et al. 2000. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 24: 153-159.
- GUARESCHI RF et al. 2013. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. Semina: Ciências Agrárias 34: 2615-2628.
- IAPAR. 1987. Instituto Agrônomo do Paraná. Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná. Londrina: IAPAR. 35p.
- KUNRATH TR et al. 2015. Grazing management in an integrated crop-livestock system: soybean development and grain yield. Revista Ciência Agronômica 46: 645-653.
- LOSS A et al. 2009. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. Ciência Rural 39: 1077-1082.
- LOVATO T et al. 2004. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 28: 175-187.
- MASCARENHAS ARP et al. 2017. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. Pesquisa Florestal Brasileira 37: 19-27.
- MARQUES TCLLSM et al. 2000. Envolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em Latossolo Vermelho-Escuro com diferentes manejos. Pesquisa Agropecuária Brasileira 35: 581-589.
- MELO VF et al. 2017. Qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savana. Revista Agroambiente On-line 11: 101-110.
- MENDONÇA ES & LEITE LFC. 2006. Modelagem matemática e simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo. In: ROSCOE R et al. (Ed.). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistema conservacionistas – modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. p.75-106.
- MOTT GO & LUCAS HL. 1952. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: 6 International Grassland Congress. Proceedings...Pennsylvania: State College. p.1380-1385.
- PAVAN MA et al. 1992. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Londrina: IAPAR. 40p.
- PRAGANA RB et al. 2012. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36: 851-858.
- RANGEL OJP & SILVA CA. 2007. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 31: 1609-1623.
- RIBEIRO PH et al. 2011. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. Revista Verde: 6: 43-50.
- ROSCOE R et al. 2006. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE R et al. (Ed.). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistema conservacionistas – modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. p.17-42.
- ROSSI CQ et al. 2012a. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. Revista Brasileira de Ciências Agrárias 7: 233-241.
- ROSSI CQ et al. 2012b. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. Revista Ciência Agronômica 43: 38-46.
- SALTON JC et al. 2005. Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 58p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 29).
- SANTOS HG dos et al. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Brasília: Embrapa. 590p.

- SILVA AC et al. 2006. Dessecação pré-colheita de soja e *Brachiaria brizantha* consorciadas com doses reduzidas de gramínicida. Pesquisa Agropecuária Brasileira 41: 37-42.
- SILVA EF da et al. 2011. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira 46: 1321-1331.
- SILVEIRA PM et al. 2005. Adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. Pesquisa Agropecuária Brasileira 40: 377-381.
- SOUZA ED et al. 2008. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo 32: 1273-1282.
- SOUZA ED et al. 2009. Estoques 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 33: 1829-1836.
- VEZZANI FM & MIELNICZULK J. 2009. Uma visão sobre a qualidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 33: 743-755.
- VILELA EF & MENDONÇA ES. 2013. Impacto de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: Modelagem de carbono e nitrogênio. Coffee Science 8: 354-363.
- VILELA L. et al. 1998. Calagem e adubação para pastagens na região do cerrado. Planaltina: Embrapa. 16p.
- TEDESCO MJ et al. 1995. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS. 174p.
- USDA. 1999. United States Department of Agriculture. Soil Taxonomy - a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. 2.ed. Washington: USDA. 871p.