



## Índice de manejo do carbono no solo em sistema integrado de produção agropecuária<sup>(1)</sup>

**Beatriz Santana de Araújo<sup>(2)</sup>; Leonardo Pereira Assis de Oliveira<sup>(2)</sup>; Francine Damian da Silva<sup>(3)</sup>; Helder Barbosa Paulino<sup>(4)</sup>; Marco Aurélio Carbone Carneiro<sup>(5)</sup>; Edicarlos Damacena de Souza<sup>(3)</sup>;**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da AGRISUS, CAPES e CNPq.

<sup>(2)</sup> Estudante; Universidade Federal do Mato Grosso; Rondonópolis, Mato Grosso; beatriz.san.tana@hotmail.com; <sup>(3)</sup> Professor; Universidade Federal do Mato Grosso; <sup>(4)</sup> Professor; Universidade Federal de Goiás; <sup>(5)</sup> Professor, Universidade Federal de Lavras.

**RESUMO:** No Brasil, os SIPA se tornaram notórios, recentemente, por promoverem sequestro de C, mitigadores dos gases de efeito estufa. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o índice de manejo do C em sistema integrado de produção agropecuária (soja-*Brachiaria ruziziensis*) sob plantio direto, submetido a diferentes intensidades de pastejo no Cerrado. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Goiás. Os tratamentos resultaram de diferentes alturas de manejo do pasto: 25, 35 e 45 cm de altura, representando alta, moderada e baixa intensidade de pastejo, respectivamente. Além de duas áreas sem pastejo (referência), totalizando 11 parcelas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. A intensidade de pastejo moderada proporcionou os maiores valores de índice de estoque de C, índice de labilidade do C e índice de manejo do C. A introdução do sistema integrado de produção agropecuária proporciona índices de manejo de C no solo mais próximos aos da vegetação de cerrado podendo assim proporcionar melhoria a solos mais degradados.

**Termos de indexação:** qualidade do solo, Cerrado, plantio direto.

### INTRODUÇÃO

Recentemente, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) foram reconhecidos pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) como alternativa para intensificação sustentável, reunindo uma diversidade de atributos raros em sistemas puros de produção de alimentos. Os SIPA são mais eficientes no uso dos recursos naturais, promovendo ciclagem de nutrientes, reduzindo os custos de produção, mantendo níveis de produtividade elevados e ainda produz inúmeros serviços ecossistêmicos (Ryschawy et al., 2012; Wright et al., 2012).

Macedo (2009) define os SIPA como sendo sistemas produtivos de grãos, fibras, carne, leite, lã, e outros, realizados na mesma área, em plantio simultâneo, sequencial ou rotacionado, onde se objetiva maximizar a utilização dos ciclos biológicos das plantas, animais, e seus respectivos resíduos, aproveitar efeitos residuais de corretivos e fertilizantes, minimizar e otimizar a utilização de agroquímicos, aumentar a eficiência no uso de máquinas, equipamentos e mão de obra, gerar emprego e renda, melhorar as condições sociais no meio rural, diminuir impactos ao meio ambiente, visando à sustentabilidade.

No Brasil, os SIPA se tornaram notórios, recentemente, por promoverem sequestro de carbono (C), mitigadores dos gases de efeito estufa. Esses sistemas podem aumentar as concentrações de C orgânico no solo ao longo do tempo, em razão do crescimento contínuo de plantas na área, da rotação de culturas, do incremento na matéria vegetal produzida no tempo e da maior ciclagem de nutrientes (Tracy & Zhang, 2008). A simples quantificação dos estoques de C total (CT) ou de suas frações não fornecem valores extrapoláveis para diferentes tipos de manejo, locais, climas e solos (Nicoloso et al., 2008). Neste aspecto, reservatórios lábeis ou complexados, em diferentes graus de interação com a matriz mineral do solo (MOS estável), podem ter implicações na retenção de C atmosférico, bem como nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos.

Nesse sentido, a fração denominada C orgânico particulado (COP) é a mais sujeita a mudanças resultantes do manejo do solo e, portanto, pode ser utilizada como indicador mais sensível da qualidade do solo. A partir de dados do fracionamento granulométrico é possível obter-se o índice de manejo de C (IMC), proposto por Blair et al. (1995), que relaciona o estoque de C do solo e sua labilidade, calculados com base num sistema de referência. O IMC parece ser uma ferramenta útil para subsidiar informações acerca dos melhores sistemas de manejo de



solos e culturas, pois integra, numa mesma medida, as variações ocorridas nas diferentes frações da MOS (Nicoloso et al., 2008).

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o IMC em SIPA sob plantio direto, submetido a diferentes intensidades de pastejo no Cerrado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Goiás (17° 56' 57" S, 51° 43' 18" W e 800 m de altitude), município de Jataí, Goiás. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa, com relevo levemente ondulado. O clima é classificado como Aw (tropical chuvoso) de acordo com o sistema de classificação de Köppen, com duas estações bem definidas, sendo a chuvosa de novembro a maio e a seca de abril a outubro.

O experimento foi instalado em uma área onde havia a pastagem perene *Brachiaria decumbens*, com dez anos de cultivo. Esta pastagem nunca havia sido adubada, nem seu solo corrigido, e conduzida com alta intensidade de pastejo com bovinos. Devido a esse manejo a pastagem apresentava sinais de degradação do pasto, podendo-se observar uma redução da produção vegetal e a presença de plantas daninhas.

Em setembro de 2009, a *Brachiaria decumbens* foi revolvida e o solo foi corrigido por meio de calagem, com aplicação à lanço, de 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT 80%), sendo incorporado ao solo com uma aração e duas gradagens. A partir deste momento, iniciou-se o experimento, onde a área total é de aproximadamente 22 hectares, que foi dividida em nove parcelas experimentais, com aproximadamente 2,0 hectares cada. As parcelas foram separadas entre si por cerca elétrica de três fios, havendo um corredor lateral ao longo do experimento para manejar os animais.

Desde outubro de 2009, a cultura da soja (cultivar Anta RR) de ciclo precoce foi semeada com espaçamento de 45 cm e população de aproximadamente 340.000 plantas por ha, com aplicação de 350 kg ha<sup>-1</sup> de NPK (02-18-18). Repetindo-se os tratamentos culturais em outubro de 2010. A colheita ocorreu no início do mês de fevereiro de cada ano, e posteriormente (2010-2011), semeou-se em linha, *Brachiaria ruziziensis* (20 kg ha<sup>-1</sup> – VC 65%). Após 45 dias da emergência das plantas realizou-se aplicação de N na forma de ureia com dose de 150 kg ha<sup>-1</sup>. A cultura foi conduzida até início de outubro (próximo a estação chuvosa), mesma época que ocorre a dessecação da gramínea aplicando-se glifosato (4 L ha<sup>-1</sup>).

Os tratamentos resultaram de diferentes alturas de manejo do pasto: 25, 35 e 45 cm de altura, representando alta, moderada e baixa intensidade de pastejo, respectivamente. Além de duas áreas sem pastejo (referência), totalizando 11 parcelas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições.

A altura da pastagem, nos diferentes tratamentos, foi semelhante na entrada dos animais, representando um acúmulo médio em torno de 4.000 kg de MS ha<sup>-1</sup>, e medida a cada 14 dias com bastão graduado "sward stick" (Barthram, 1986), com leituras de 50 pontos por parcela, que totalizaram 150 pontos por tratamento. Foi utilizado em cada ano, bovinos jovens (12 meses) e adultos (vacas secas).

Dessa forma, os animais iniciam o ciclo de pastejo na primeira quinzena de julho e são retirados da área no início de outubro de cada ano, seguido de dessecação.

Em outubro de 2011, após a saída dos animais e início do período chuvoso, após dois anos de SIPA, amostras de solo foram coletadas. Foram abertas trincheiras de 40x40x40 cm de profundidade e o solo foi coletado da camada de 0-20 cm, em cinco pontos por tratamento.

Após secagem em estufa, parte da amostra foi pesada e determinados os teores totais de C segundo Tedesco et al. (1995) por oxidação com dicromato. O fracionamento físico do solo foi realizado após agitação de 20 g de solo e 80 mL de hexametáfosfato (7,5 g.L<sup>-1</sup>) por 16 horas (Cambardella & Elliot, 1992) em agitador horizontal. A lavagem do material foi realizada com auxílio de jato de água em peneira 53 µm e levado para secagem em estufa a 50 °C até adquirir peso constante e moído em gral de porcelana. E depois foram determinados os teores de CT e COP (Tedesco et al. 1995).

O IMC foi calculado, considerando a área sem pastejo como referência (IMC=100), segundo proposto por Blair et al. (1995) com adaptação de Vieira et al. (2007):

$$\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{ILC} \times 100$$

onde IEC é o índice de estoque de C e ILC é o índice de labilidade do C.

O IEC é calculado como:

$$\text{IEC} = \frac{\text{estoque de C do tratamento (0 - 20 cm)}}{\text{estoque de C da referência (0 - 20 cm)}}$$

O ILC é calculado como:

$$\text{ILC} = \frac{\text{LC do tratamento}}{\text{LC da referência}}$$



onde LC refere-se a labilidade do C, e é calculado como:

$$LC = \frac{C \text{ lábil}}{C \text{ não lábil}}$$

onde o COP é o C lábil e o C associado aos minerais é o C não lábil.

### Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à ANOVA e quando significativos aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o programa estatístico SISVAR versão 5.3.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maior valor de IEC foi observado na área onde a pastagem foi submetida à moderada intensidade de pastejo e o menor valor foi encontrado para a alta intensidade de pastejo (Tabela 1). No sistema de plantio direto com milheto, a ausência do revolvimento do solo associado ao seu sistema radicular, capaz de incorporar C em profundidade e de capturar nutrientes facilmente lixiviados (Foy, 1997), corroboram com os maiores valores encontrados, estando também de acordo com Bayer et al. (2004), Wendling et al. (2005) e Loss et al. (2009).

A permanência dos resíduos culturais na superfície, a rotação de culturas e o revolvimento do solo somente na linha de plantio favorecem a proteção física da MOS e a formação de agregados que ocasionaram o aumento do estoque de C no solo (Sá et al., 2001). Souza et al. (2009), verificou que, inicialmente, as maiores intensidades de pastejo tenderam a maiores acúmulos de C e que as taxas anuais de adição de C, tendo como referência o início do experimento, demonstram que as adições desse nutriente ao solo variaram em função da intensidade de pastejo e do tempo. Em estudos sobre estoque de C, em um Latossolo Vermelho Distrófico submetido a diferentes sistemas de manejo, em Morrinhos (GO), D'Andréa et al. (2004) constataram que a pastagem, (principalmente *Brachiaria decumbens*) é uma alternativa promissora para promoção de aumentos nos estoques de C no solo.

Os valores de LC não diferiram entre si, tendo seu maior valor observado em área onde a pastagem foi submetida a moderada intensidade de pastejo e seu menor valor foi encontrado em área de alta intensidade de pastejo (Tabela 1). De acordo com Schiavo et al. (2011), na profundidade de 5–10 cm, a LC não diferiu entre as áreas de cultivo e foi menor, portanto, em relação à área de referência de vegetação de cerrado. Na profundidade de 10–20 cm, a área com braquiária apresentou maior labilidade. De

forma semelhante, nessa mesma cobertura, ocorreram os maiores ILC nas profundidades de 5–10 e 10–20 cm.

O maior valor de ILC foi obtido em área com intensidade de pastejo moderada e menor valor em área com alta intensidade de pastejo (Tabela 1).

O maior valor de IMC foi observado na área onde a pastagem foi submetida a intensidade de pastejo moderado e seu menor valor foi obtido em área de alta intensidade de pastejo (Tabela 1). O IMC é um indicador da qualidade do manejo do solo e permite uma comparação entre sistemas diferentes no que diz respeito aos seus efeitos sobre a qualidade do solo (Diekow et al., 2005).

Salton (2005), estudando a matéria orgânica e agregação do solo em rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical sob Latossolo Vermelho Distroférico, em Dourados (MS), verificou valores de IMC superiores nos sistemas com a presença de pastagem, com valores de IMC de 137 para sistema de pastagem permanente (*Brachiaria decumbens*) e 104 para sistema lavoura-pecuária (soja-braquiária), os quais superaram a área de referência. Assim a área onde a altura de pastagem foi de 35 cm foi considerada com alta qualidade do solo, com base no valor de IMC de 105,4 (Tabela 1).

O sistema de manejo adotado, que integra a sucessão de lavoura de soja e pastagem com pecuária, tem contribuído para a manutenção do solo. Os atributos químicos do solo apresentaram alterações, em razão da rotação do SIPA.

Tabela 1. Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade do carbono (LC), índice de labilidade do carbono (ILC) e índice de manejo de carbono (IMC), na camada de 0 a 20 cm, em um Latossolo Vermelho submetido a intensidades de pastejo em plantio direto.

Altura do pasto (cm)	IEC	LC	ILC	IMC
25	0,96 c	0,25 a	0,88 d	84,9 d
35	1,01 a	0,29 a	1,05 a	105,4 a
45	0,99 b	0,26 a	0,91 c	90,0 c
Sem pastejo	1,00 b	0,28 a	1,00 b	100,0 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de erro.

## CONCLUSÕES

A intensidade de pastejo moderada proporcionou os maiores valores de índice de estoque de C, índice de labilidade do C e índice de manejo do C.

A introdução dos SIPA proporciona índices de manejo de C no solo mais próximos aos da





vegetação de cerrado podendo assim proporcionar melhoria a solos mais degradados.

## REFERÊNCIAS

BARTHAM, G. T. Experimental techniques - the HFRO sward stick. Biennial Hill Farming Research Organisation 1984-85 (ed. Allcock MM), pp. 29-30. Hill Farming Research Organisation, Penicuik, 1986, Midlothian, UK.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 39:677-683, 2004.

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, 46:1459-1466, 1995.

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, 46:1459-1466, 1995.

CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of American Journal, 56:777-783, 1992.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 39:179-186, 2004.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. Plant Soil, 268:319-328, 2005.

FOY, C.D. Tailoring plants to fit problem soils: progress and problems for future research. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.; SHAFFERT, R.E. (Ed.). Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. Campinas: Brazilian Soil Science Society, 1997. p.55-57.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C. dos; SILVA, E.M.R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. Ciência Rural, 39:1067-1072, 2009.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovação tecnológicas. Revista Brasileira de Zootecnia, 38:133-146, 2009.

NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:2425-2433, 2008.

RYSCHAWY, J.; CHOISIS, N.; CHOISIS, J. P.; JOANNON, A.; GIBON, A. Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? Animal, 6:1722-1730, 2012.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. Soil Science Society of America Journal. 65:1486-1499, 2001.

SALTON, J. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura- pastagem em ambiente tropical. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciências do Solo). Porto Alegre: UFRGS, 2005. 155p.

SCHIAVO, J. A.; ROSSET, J. S.; PEREIRA, M. G.; SALTON, J. C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 46:1332-1338, 2011.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGHETTI, M.; CAO, E. 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, 2009.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2ª ed. rev. Porto Alegre: Departamento de Solos - UFRGS, 1995. 174p.

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, 48:1211-1218, 2008.

VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; HE, Z.L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. Soil and Tillage Research, 96:195-204, 2007.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 40:487-494, 2005.

WRIGHT, I. A.; TARAWALI, S.; BLEUMMEL, M.; GERARD, B.; TEUFEL, N.; HERRERO, M. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. Journal of the Science of Food and Agriculture, 92:1010-1015, 2012.