

ESTOQUES DE CARBONO E PROPRIEDADES FÍSICAS DE SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO¹

JULIANO CARLOS CALONEGO^{2*}, CARLOS HENRIQUE DOS SANTOS², CARLOS SÉRGIO TIRITAN², JOSÉ ROBERTO CUNHA JÚNIOR²

RESUMO - A atividade agropecuária altera as propriedades físicas do solo, tornando-as desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal. Objetivou-se com esse trabalho avaliar as propriedades físicas do solo e a relação dessas com o teor de matéria orgânica, além de quantificar o estoque de carbono total, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade, em áreas sob diferentes tipos de manejo, e comparar com solo de mata nativa. O trabalho foi realizado na Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente (SP). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso, com cinco repetições e esquema fatorial 4x2, sendo quatro sistemas de manejo do solo (sistema semeadura direta, preparo convencional, pastagem e mata nativa) e duas profundidades de amostragem (0-10 e 10-20 cm), entre os meses de maio e dezembro de 2009. Foram avaliados os parâmetros densidade do solo, porosidade total, teor de matéria e estoque de carbono total no solo. A intervenção humana através de práticas agropecuárias reduz o estoque de carbono no solo a patamares muito inferiores ao encontrado em condições de mata nativa, além de proporcionar condições físicas do solo inferiores ao solo mantido sob mata nativa.

Palavras-chave: Sistema Semeadura Direta. Preparo do solo. Pastagem. Matéria orgânica do solo.

CARBON STOCK AND SOIL PHYSICAL PROPERTIES SUBMITTED TO DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

ABSTRACT - Agricultural activity changes the soil physical properties, making them unfavorable for plant development. The objective of this study was to evaluate the soil physical properties and total carbon stocks in the layers of 0 to 0.10 and 0.10 to 0.20 m depth, in areas under different management, and compare with the native forest soil. The study was conducted between May and December 2009, at University of Oeste Paulista, Presidente Prudente (SP). The experiment was conducted in a randomized block design with four replicates in a 4x2 factorial, with four soil management systems (no tillage (NT), conventional tillage (CT), pasture and native forest) and two sampling depths (0 to 0.10 and 0.10 to 0.20 m). We evaluated the parameters of soil bulk density, porosity, organic matter content and total carbon stocks in soil. Human intervention through agricultural practices reduces the stock of carbon in soil to levels well below the conditions found in native forest, besides providing the soil physical conditions worse than that of the soil kept under forest.

Keywords: No-tillage. Tillage. Pasture. Soil organic matter.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 16/02/2011; aceito em 26/11/2011.

²Centro de Ciências Agrárias, UNOESTE, 19067-17, Presidente Prudente – SP; juliano@unoeste.br; chenrique@unoeste.br; tiritan@unoeste.br; eng.agro.joseroberto@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas adequadas ao desenvolvimento ótimo das plantas. Nessas condições, o volume de solo explorado pelas raízes é relativamente grande. À medida que o solo vai sendo submetido ao uso agrícola, as propriedades físicas sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (SPERA et al., 2004).

O surgimento de camadas compactadas torna-se comum por pressões externas exercidas sobre o solo, como tráfego de máquinas ou animais, ou mesmo por um processo natural de acomodação das partículas. Em áreas preparadas mecanicamente, a compactação em subsuperfície pode ocorrer em virtude da pressão exercida pelos equipamentos de preparo do solo. Com a compactação do solo ocorre a redução da porosidade total e o aumento da densidade do solo e da resistência à penetração das raízes, além de restringir o movimento da água e do ar ao longo do perfil (RICHART et al., 2005).

Resultados de pesquisa apontam para uma compactação na camada superficial em Sistema Semeadura Direta (SSD), em experimentos de curta duração (TORMENA et al., 2002), justificada pela ausência de mobilização do solo, e pela acomodação das partículas, seja por um processo natural ou por forças exercidas na superfície do solo (RICHART et al., 2005). Entretanto, Lanzasova et al. (2010), após 16 anos da adoção do SSD com diferentes rotações de culturas e adubos verdes, observaram menor densidade do solo e maior volume total de poros e macroporosidade em comparação com o tratamento mantido sem cobertura do solo.

Segundo Follett (2001), o SSD constitui uma prática agrícola que promove o aumento do teor de carbono orgânico no solo (COS), tanto pelo aporte constante de material vegetal, como pela redução da taxa de decomposição da MO. De acordo com Franzuebbers (2002), a concentração de MO nas camadas superficiais, em SSD, permite maior estabilidade do sistema poroso, aumentando a capacidade do solo em suportar cargas sem sofrer compactação adicional, pois aumenta a força de união entre as partículas, aumentando a estabilidade dos agregados. Além disso, o aumento do estoque de MO no solo resulta na retirada de CO₂ da atmosfera, contribuindo para a mitigação do efeito estufa (CERRI et al., 2010).

Sendo assim, o SSD favorece o sequestro de carbono pelas plantas, uma vez que aumenta o influxo de C via material orgânico, que, devido à mínima mobilização do solo, apresenta lenta e gradual decomposição, reduzindo o efluxo de C do solo para a atmosfera, determinando o balanço positivo no acúmulo de C no solo (BAYER et al., 2006). Os sistemas de manejo conservacionistas também contribuem com o balanço positivo de C no solo por proporcionarem maior integridade estrutural aos agregados, o que reduz a oxidação da MO (COSTA et al.,

2008), sendo incentivado pelo governo federal com financiamentos a agricultores e cooperativas, por meio do programa “Agricultura de Baixo Carbono”, que pretende aliar produção de alimentos e bionergia com técnicas que garantem eficiência no campo, com balanço positivo entre sequestro e emissão de dióxido de carbono (CO₂) (BRASIL, 2011).

Objetivou-se com esse trabalho avaliar as propriedades físicas do solo e a relação dessas com o teor de matéria orgânica, além de quantificar o estoque de carbono total, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade, em áreas sob diferentes tipos de manejo, e comparar com solo de mata nativa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de maio e dezembro de 2009, no campus II da Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE (Presidente Prudente/SP), localizada entre as coordenadas 22° 07' latitude S e 51° 27' longitude W e a altitude de 430 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, com temperatura média anual de 25 °C e com precipitação média anual de 1400 a 1500 mm, caracterizado por dois períodos distintos, um chuvoso de outubro a março e outro de baixo índice pluviométrico de abril a setembro.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente ao acaso, com cinco repetições e em esquema fatorial 4x2, sendo quatro sistemas de uso do solo (mata nativa, pastagem, preparo convencional e sistema semeadura direta) e duas profundidades de amostragem (0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m). O solo das áreas estudadas foi classificado como Argissolo Vermelho distroférico de textura média (EMBRAPA, 2006), com relevo suave ondulado e teores de areia, silte e argila de 180, 80 e 740 g kg⁻¹, respectivamente, na camada de 0 a 10 cm, e de 174, 82 e 744 g kg⁻¹, respectivamente, na camada de 10 a 20 cm. As áreas foram escolhidas de forma que a distância máxima entre elas não ultrapassasse 500 m. Para a realização do experimento, demarcou-se as áreas em talhões de 2 ha.

O local de mata caracteriza-se por ser de uma área de vegetação nativa, sem interferência humana, com vegetação típica de cerrado. A área conduzida em Sistema Semeadura Direta (SSD) vem sendo conduzida nesse sistema nos últimos quatro anos, com a sucessão milho/sorgo/milho/sorgo/milho/crotalária/milho/aveia preta, porém é uma área em que se pratica agricultura por aproximadamente 30 anos. Na área com preparo convencional (PC) as amostras foram coletadas em área de cana plantada em dezembro de 2008, após reforma de canavial (sexto corte) com revolvimento do solo com grade aradora e duas gradagens niveladoras. A área com pastagem caracteriza-se por um piquete onde em Novembro de 2008 foi feita a reforma de um pasto de *Brachiaria brizantha* que estava sendo mantido

sob pastejo rotacionado por cinco anos. A reforma consistiu do preparo do solo com uma gradagem pesada e duas gradagens niveladoras, seguida da semeadura de *Brachiaria brizantha*. Nessa área ocorre a entrada de animais com taxa de lotação, em média, de 3 U.A. por hectare, com período de ocupação e descanso de, aproximadamente, 7 e 40 dias, respectivamente, mantendo altura residual do pasto entre 20 e 30 cm.

As coletas de amostras foram efetuadas em Setembro de 2009, coincidindo com a época de colheita de aveia preta (área de SSD), crescimento vegetativo da cana planta (área de PC) e após 30 dias da saída dos animais (área de pastagem).

Para determinação de teor de MO e da Densidade de partículas (Dp), coletou-se amostras de solo com estrutura deformada, por meio de trado tipo sonda, realizando cinco amostragens simples para compor uma amostra composta por repetição. As amostras foram acondicionadas em caixas, identificadas, secas ao ar e encaminhadas ao laboratório, onde foram destorroadas e submetidas à análise do teor de MO pelo método de Walkley e Black adaptado e descrito por Raij et al. (2001). O teor de MO foi convertido em Carbono Orgânico (CO), considerando que a matéria orgânica do solo possui 58% de CO (FAGERIA et al., 1999).

Para determinação da Dp utilizou-se 20 g de solo deformado e seco (105 °C), o qual foi colocado em balão volumétrico de 50 ml. Com o auxílio de uma bureta completou-se o volume dos balões volumétricos com álcool etílico e anotou-se o volume gasto (EMBRAPA 1997). Por meio da equação 1, calculou-se a densidade real.

$$Dp = \frac{Ms}{(Vb - Valc)}$$

Equação 1:

Onde: Dp = Densidade de partículas (g cm⁻³); Ms = Massa de solo deformado e seco (g); Vb = Volume do balão volumétrico (50 ml); Valc = Volume de álcool etílico gasto;

Para determinar a densidade do solo (Ds) e a porosidade total (Pt) foram coletadas, em duplicatas, amostras com estrutura preservada, por meio de trado tipo Uhland e anéis volumétricos com 5,0 cm de altura por 4,8 cm de diâmetro interno, no centro das camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, em trincheiras abertas com dimensões aproximadas de 30 cm de largura por 40 cm de comprimento e 30 cm de profundidade. Após a coleta das amostras, ainda no campo, foi retirado o excesso de solo dos bordos dos anéis, com o auxílio de um estilete. Em seguida, os anéis volumétricos foram vedados com tampas plásticas para evitar possíveis danos e deformações.

No laboratório as amostras foram colocadas

para secar a 105 °C por 24 horas e tiveram seu peso seco determinado em balança de precisão (0,01 g). Com base na massa de solo de cada amostra e do volume dos anéis volumétricos foi possível determinar a densidade do solo (Ds) conforme descrito em EMBRAPA (1997).

Por meio dos resultados de Ds e da Dr foi possível calcular a Pt do solo (EMBRAPA, 1997), utilizando a equação 2:

$$Pt = 1 - \left(\frac{Ds}{Dp} \right)$$

Equação 2:

Onde: Pt = Porosidade total (cm³ cm⁻³); Ds = Densidade aparente do solo (g cm⁻³); Dp = Densidade de partículas (g cm⁻³)

Com a determinação da densidade do solo e do teor de C total do solo foi possível calcular o estoque de carbono do solo em cada sistema de uso do solo (SILVA et al., 2004), em cada profundidade. O cálculo dos estoques foi realizado pela equação 3:

$$\text{Equação 3: } Ec = Ds \times h \times C$$

Onde: Ec = estoque de carbono (Mg ha⁻¹); Ds = densidade aparente do solo (g cm⁻³); h é a espessura da camada de solo amostrada (cm); C = teor de C (%).

Os Ec dos tratamentos envolvendo pastagem, SSD e PC foram corrigidos para uma mesma massa de solo, tendo as condições de mata nativa como referência (SISTI et al., 2004).

Os resultados foram avaliados por meio de análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade. Efetuou-se também um estudo de correlação entre os valores de teor de matéria orgânica e os valores de porosidade total, densidade do solo e de partículas, com fornecimento do coeficiente de correlação significativo a 5 % de probabilidade pelo teste t.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de uso do solo afetou significativamente os resultados de Densidade do solo (Ds), Densidade de partículas (Dp), Porosidade total (Pt) e teor de matéria orgânica (MO). Porém, a profundidade de amostragem influenciou apenas na Ds e Pt, não ocorrendo interação significativa entre sistema de uso do manejo e profundidade de amostragem (Tabela 1).

O solo mantido sob vegetação nativa apresentou-se menos compactado em relação aos demais sistemas de ocupação, com menor valor de Ds, além de maior valor de Pt em relação ao PC e SSD, porém sem diferir do solo mantido sob pastagem (Tabela 1). Isso demonstra que os sistemas com menor interferência humana são os que mantêm as melhores condições físicas do solo. Segundo Spera et al. (2004), à medida que os ecossistemas naturais vão sendo substituídos por atividades agrícolas totalmente voltadas

à produção comercial, as propriedades físicas do solo sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal.

O baixo valor de Ds em solos de mata nativa explica-se pela ausência de práticas agressivas ao solo, mantendo a sua estrutura intacta, evitando o processo de compactação. Além disso, o alto valor de MO obtida nessa área reduz a Ds devido ao baixo peso específico da MO e à elevada porosidade total, natural da MO humificada. Segundo Fageria et al. (1999) a densidade da camada superficial da maioria dos solos varia de 1 a 1,6 g cm⁻³, sendo que os solos com alto teor de MO geralmente têm densidade menor que 1 g cm⁻³.

A ausência de diferença estatística entre o SSD e o PC, para os parâmetros físicos avaliados e teor de MO, deve-se provavelmente por se tratar dos primeiros anos de adoção do sistema conservacionista. Na literatura são comuns os relatos de ausência de respostas, ou até mesmo a presença de resultados negativos nos primeiros anos de SSD (BERTOL et al. 2004), principalmente em condições com dificuldade de produção de palhada e rápida decomposição da MO do solo, que é o caso das condições do presente experimento, em que os baixos índices pluviométricos nas estações de outono-inverno dificultam a produção de cobertura morta e a alta temperatura e umidade do verão aceleram a oxidação da MO. Porém, Albuquerque et al. (2001), em trabalho com sistemas de rotação de culturas sob SSD incluindo espécies com sistema radicular agressivo e com diferentes quantidades de fitomassa, sugerem que as propriedades físicas e químicas de solo podem ser melhoradas.

Tormena et al. (2002) verificaram que o SSD resultou em maior valor de Ds e menor valor de Pt, em comparação ao PC, na camada de 0 a 0,10m. Porém, na camada de 0,10 a 0,20 m não houve diferença estatística entre os sistemas de manejo, havendo, portanto, maior uniformidade no perfil do solo cultivado em SSD em relação ao PC. Os autores atribuem o maior adensamento na camada superficial de solos mantidos em SSD devido ao efeito cumulativo do tráfego de máquinas e da ausência de mobilização mecânica do solo.

No SSD, em geral, os solos apresentam, após três a quatro anos, maiores valores de Ds e microporosidade na camada superficial, e menores valores de macroporosidade e Pt, quando comparado com o PC. Isto ocorre, sobretudo, pelo arranjo natural do solo não mobilizado, e pela pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, em particular quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de umidade (SILVEIRA; STONE, 2003).

A maior Ds em SSD em relação ao PC não significa que no sistema conservacionista o solo esteja mais compactado, pois essa densidade maior, resultado da acomodação de partículas, ou até mesmo do tráfego de máquinas, é compensado pela pre-

servação dos bioporos, que são canais deixados pelas raízes das plantas, que servirão como rotas para o crescimento das raízes das culturas subsequentes (SILVA; ROSOLEM, 2001). Em contrapartida, é possível que uma aparente melhoria nas condições físicas do solo promovida pelo PC, como o aumento da Pt promovida pela ação de implementos mecânicos de mobilização do solo e de rompimento da compactação, não garanta o maior crescimento das raízes, pois destrói a continuidade dos macroporos (TORRES; SARAIVA, 1999). Assim, uma densidade do solo que limita o crescimento das raízes das plantas cultivadas em PC pode não ser limitante em SSD. O mesmo pode-se dizer para o solo com pastagem, pois, mesmo em altos valores de Ds pode haver crescimento radicular normal, já que as forrageiras deixam grandes quantidades de canais devido ao grande volume de raízes deixados pelas gramíneas (SILVA; ROSOLEM, 2001), aumentando a resistência à penetração limitante para o crescimento radicular.

Apesar das propriedades físicas do solo sob pastagem não terem diferido estatisticamente em relação aos demais sistemas de ocupação (manejo) do solo (Tabela 1), comumente verifica-se que pastagem bem manejada é uma boa alternativa para proporcionar melhorias nas condições físico-hídricas dos solos. Moreira et al. (2005) verificaram melhores condições físicas relacionadas a Pt, Ds e resistência à penetração em solos sob pastagem recuperada, quando comparadas a pastagens degradadas. Uma explicação para isso seria que a pressão do casco dos animais sobre o solo pode comprometer a qualidade física na camada superficial, em razão do aumento da densidade do solo e da redução da porosidade.

De uma forma geral, ao comparar as camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m (Tabela 1) constatou-se a presença de solo mais adensado na camada mais profunda (0,10 a 0,20 m), onde observou-se maior Ds e menor Pt, devido, provavelmente, a um processo natural de acomodação de partículas (CAMARGO; ALLEONI, 1997), independente do sistema de ocupação do solo. Apesar de não ter ocorrido interação significativa entre sistema de ocupação do solo e profundidade de amostragem, é comum que em áreas conduzidas em SSD o teor de MO, com o passar dos anos, seja maior que no PC, sendo os incrementos nos teores de MO maiores nos primeiros 0,05 m de profundidade, em solos em SSD, pela decomposição dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo, atingindo camadas mais profundas com o passar dos anos, devido à atividade e à morte de raízes e da fauna do solo. Além disso, Reichert et al. (2007) afirmam que a compactação em sistemas sem revolvimento do solo e em pastagens ocorre na camada superficial do solo, e sob preparo convencional na camada subsuperficial. As principais causas da compactação em sistemas sem revolvimento do solo e em pastagens

Tabela 1. Resultados da análise de densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e teor de matéria orgânica no solo, nas camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, em áreas sob mata nativa, pastagem, sistema semeadura direta e preparo convencional.

Tratamentos ⁽¹⁾	Dp ⁽²⁾	Ds ⁽³⁾	Pt ⁽⁴⁾	MO ⁽⁵⁾
	-----g cm ⁻³ -----		(g g ⁻¹)	(g dm ⁻³)
Sistema de manejo				
Pastagem	2,56 a	1,48 a	0,429 ab	13 b
Mata nativa	2,43 b	1,33 b	0,451 a	44 a
Preparo convencional	2,48 b	1,53 a	0,380 b	6 b
Sistema semeadura direta	2,46 ab	1,51 a	0,388 b	8 b
Profundidade (m)				
0 a 0,10	2,48 a	1,42 b	0,427 a	19 a
0,10 a 0,20	2,50 a	1,50 a	0,397 b	17 a
Valor de F				55,25**
Sistema de manejo (SM)	7,16 **	8,26 **	6,54 **	88
Profundidade (P)	0,29 ns	7,05 *	5,02*	0,39 ns
SM x P	0,93 ns	0,88 ns	1,81 ns	0,53 ns
CV (%)	3,04	6,10	9,03	28,17

⁽¹⁾Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade. Letras minúsculas comparam os sistemas de ocupação do solo e letras maiúsculas comparam as profundidades de amostragem. ⁽²⁾Densidade de partícula. ⁽³⁾Densidade do solo. ⁽⁴⁾Porosidade total. ⁽⁵⁾Teor de matéria orgânica. ns,*,** Não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

ocorre na camada superficial do solo, e sob preparo convencional na camada sub-superficial. As principais causas da compactação adicional ao solo se devem ao tráfego de máquinas cada vez mais pesadas em culturas anuais e permanentes, e do pisoteio dos animais em pastagens com alta pressão de pastejo.

Na Figura 1 fica evidente o efeito da MO nas propriedades físicas do solo. Observa-se correlação positiva entre o teor de MO e a Pt, e correlação negativa entre a MO e a Ds, assim como a Dr. Dessa forma, o aumento do teor de MO em qualquer que seja o sistema de ocupação e preparo do solo pode ser uma maneira de melhorar as características físicas do solo. Calonego e Rosolem (2008) verificaram aumento do teor de MO com o cultivo por três anos consecutivos de *Crotalaria juncea* como planta de cobertura entre os meses de outubro e novembro, antecedendo cultivo de soja em SSD, quando comparado com o solo mantido em pousio nessa época.

O EC no solo sofreu influência significativa do sistema de uso do solo, porém não ocorreram diferenças quanto à profundidade de amostragem (Tabela 2). O EC foi superior em área mantida sob mata nativa, com média de 32,55 Mg ha⁻¹ nas camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m de profundidade (Tabela 2), comprovando que a intervenção humana através do cultivo de plantas, independentemente do sistema de manejo, reduz o montante de carbono armazenado no solo. De acordo com a literatura, a substituição da pastagem nativa e de florestas natu-

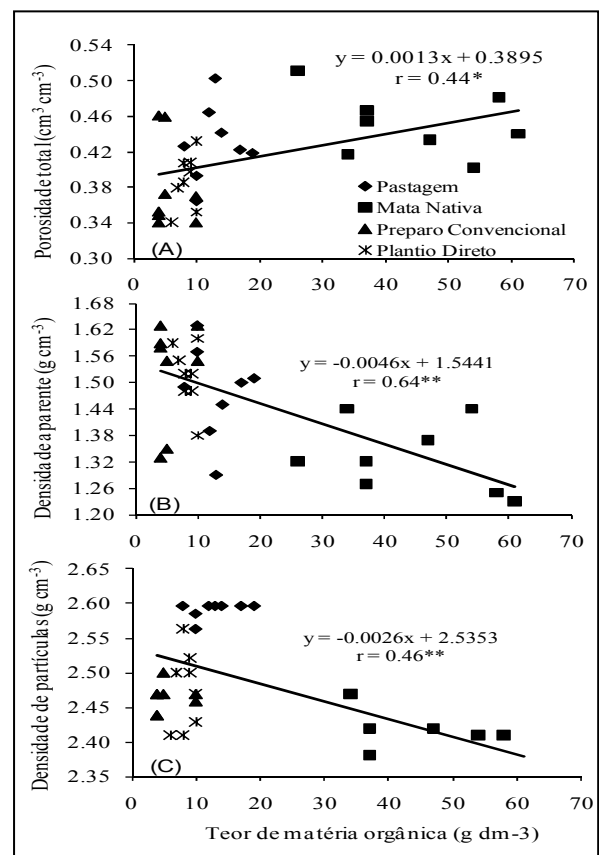


Figura 1. Correlação entre o teor de matéria orgânica do solo e a porosidade total (A), densidade aparente (B) e densidade de partículas (C). *,** Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t.

rais por sistemas agrícolas de cultivo pode levar a uma redução no conteúdo de C do solo, primariamente em resposta à aceleração na taxa de decomposição causada pelo cultivo do solo e a maior aeração e exposição física da MO aos microorganismos decompositores (ZINN et al., 2002).

Na região Sul do Brasil, Sá et al. (2001) estimaram taxas de incremento no teor de C na ordem de $0,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na camada de 0 a 0,20 m e de $1,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na camada de 0 a 0,40 m do solo, após 22 anos sob SSD, comparado ao mesmo período em

práticas convencionais. Corazza et al. (1999) verificaram na região de cerrado, localizada no Centro-Oeste do Brasil, um acúmulo adicional de C na ordem de $0,75 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na camada 0-40 cm do solo, sendo esse incremento atribuído ao sistema de manejo conservacionista. Já Bayer et al. (2006), comparando solos do cerrado brasileiro sob PC e SSD, na camada de 0 a 0,20 m, verificaram que em solo de textura média o SSD proporcionou incremento no estoque de na ordem $2,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ (taxa de $0,30 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e em solos de textura argilosa o incre-

Tabela 2. Resultados estoques de carbono no solo, nas camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, em áreas sob mata nativa, pastagem, sistema semeadura direta e preparo convencional.

Tratamentos ⁽¹⁾	Ec ⁽²⁾
	Mg ha ⁻¹
Sistema de manejo	
Pastagem	11,68 b
Mata nativa	32,55 a
Preparo convencional	5,78 b
Sistema semeadura direta	6,63 b
Profundidade (m)	
0 a 0,10	15,80 a
0,10 a 0,20	15,51 a
Valor de F	
Sistema de manejo (SM)	54,66**
Profundidade (P)	0,01 ns
SM x P	0,72 ns
CV (%)	25,42

⁽¹⁾Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade. Letras minúsculas comparam os sistemas de ocupação do solo e letras maiúsculas comparam as profundidades de amostragem. ⁽²⁾ Estoque de carbono total.

ns,*** Não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

mento foi de $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (taxa de $0,60 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Segundo revisão realizada por esses autores a taxa média de sequestro de C em solos de climatropica em SSD é estimada em $0,35 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, similar à taxa de $0,34 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ encontrada para solos de regiões de clima temperado, porém menor que os $0,48 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ estimada para solos de região Sul do Brasil (clima subtropical).

No caso da pastagem, apesar de não diferir dos sistemas agrícolas em SSD e PC quanto ao EC, apresentou EC quase duas vezes maior (Tabela 2). Segundo Bayer et al. (2011), no cerrado brasileiro, o uso de pastagem de braquiária é uma opção para acúmulo de C no solo, sendo compatíveis ou muitas vezes superiores aos sistemas exclusivamente agrícolas. D'Andréa et al. (2004) verificaram que na camada de 0 a 0,4 m de um Latossolo de Goiás o estoque de C em condição de pastagem com braquiária apresentava-se 14% superior maior do que o solo sob vegetação nativa. Porém, esses resultados

consideram apenas pastagens produtivas, já que em condições de pastagens degradadas os estoques de carbono são consideravelmente menores, corroborando com os resultados obtidos no experimento em questão (Tabela 2). Alves et al. (2008) relatam que um solo sob pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* apresentou cerca de 11 Mg ha^{-1} menos C do que um solo sob pastagem recuperada ou sob vegetação nativa.

CONCLUSÕES

Os sistemas de manejo do solo com pastagem, SSD e PC proporcionam condições físicas do solo inferiores ao solo mantido sob mata nativa, que apresenta reduzida densidade do solo e elevada porosidade total, sendo esse resultado diretamente relacionado com o maior teor de matéria orgânica;

Independente do sistema de ocupação (ou

manejo) do solo, a camada do solo entre 0,10 e 0,20 m apresenta maior densidade aparente e menor porosidade total;

A intervenção humana através de práticas agropecuárias reduz o estoque de carbono no solo a patamares muito inferiores ao encontrado em condições de mata nativa.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A. et al. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 717-723, 2001.
- ALVES, B. J. R. et al. Dinâmica do Carbono em Solos sob Pastagem. In: SANTOS, G. de A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 561-569.
- BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.
- BAYER, C. et al. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In: KLAUBERG FILHO, O. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**, v. 7. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 55-118.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Programa agricultura de baixo carbono. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/programa-abc>. Acesso em: 17 nov. 2011.
- BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.
- CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1399-1407, 2008.
- CERRI, C. C. et al. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 1, p. 102-116, 2010.
- CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.
- COSTA, F. de S. et al. Estoques de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 323-332, 2008.
- D'ANDRÉA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- FAGERIA, N. K. et al. **Maximização da produção das culturas**. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 294 p.
- FOLLETT, R. F. Soil Management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil and Tillage Research**, v. 61, n. 1, p. 77-92, 2001.
- FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 66, n. 2, p. 95-106, 2002.
- LANZANOVA, M. E. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1333-1342, 2010.
- MOREIRA, J. A. A. et al. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 155-161, 2005.
- RAIJ, B. VAN et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- REICHERT, J. M. et al. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERRETA, C. A. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 5. p.49-134.

RICHART, A. et al. Compactação de solo: causas e efeitos. **Semina Ciência Agrária**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

SILVA, J. E. et al. Carbon storage in clayey oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, n. 2, p. 357-363, 2004.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 253-260, 2001.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 240-244, 2003.

SISTI, C. P. J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SPERA, S. T. et al. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 9, n. 1, p. 23-31, 2004.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58 p. (Circular Técnica, 23)

ZINN, Y. L.; LAL, R. Changes in soil organic carbon stocks under agricultural in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 84, n. 1, p. 28-40, 2005.