

CARBONO ORGÂNICO E ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

Douglas Troian¹

Jean Sérgio Rosset²

Luis Felipe Batista Nandi Martins³

Jefferson Matheus Barros Ozório⁴

Selene Cristina de Pierri Castilho⁵

Leandro Marciano Marra⁶

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo avaliar os teores de carbono orgânico total (COT) e os estoques de carbono (EstC) em diferentes sistemas de manejo conduzidos ao longo do tempo no município de Iguatemi (MS), Brasil. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo estudadas quatro áreas situadas em uma mesma propriedade rural, conduzidas com diferentes sistemas de manejo, sendo elas: lavoura em sistema de preparo convencional, pastagem permanente e eucalipto, além da área de mata nativa sem ação antrópica. A coleta de solos foi efetuada nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com realização das seguintes análises: densidade do solo (Ds), teores de COT, com posteriores cálculos do índice de estratificação (IE), EstC e variação do estoque de carbono (Δ EstC), tendo a área de mata como referência. Posteriormente as variáveis foram agrupadas em análise multivariada. Todas as áreas manejadas apresentaram valores de Ds acima do limite crítico, superiores à área de mata, chegando a 1,73 Mg m⁻³. A área de mata obteve teores e estoques de carbono superiores em todas as camadas, quando comparada às áreas manejadas, sendo que estas não apresentaram potencial de acúmulo de carbono no solo, apresentando Δ EstC negativo em todas as camadas avaliadas. Todas as áreas estudadas apresentaram IE superior a 1,00,

¹ Tecnólogo em Gestão Ambiental - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) - Unidade Universitária de Mundo Novo (MS), Brasil.

² Doutor em Agronomia. Docente do curso de Tecnologia em Gestão Ambiental - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) - Unidade Universitária de Mundo Novo (MS), Brasil. E-mail: rosset@uems.br

³ Tecnólogo em Gestão Ambiental - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) - Unidade Universitária de Mundo Novo (MS), Brasil.

⁴ Discente de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) - Unidade Universitária de Dourados (MS), Brasil.

⁵ Doutora em Ciências. Docente do curso de Tecnologia em Gestão Ambiental - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) - Unidade Universitária de Mundo Novo (MS), Brasil.

⁶ Doutor em Ciência do Solo. Docente do curso de Tecnologia em Gestão Ambiental - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) - Unidade Universitária de Mundo Novo (MS), Brasil.

com a área de mata superior às áreas manejadas, sendo estas semelhantes entre si. A análise multivariada formou dois grupos distintos, um contendo a área de mata e outro contendo os sistemas de manejo.

PALAVRAS-CHAVE: Matéria orgânica; Qualidade do solo; Sustentabilidade agrícola.

ORGANIC CARBON AND CARBON STOCK IN SOIL IN DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

ABSTRACT: The present study aimed to evaluate the levels of total organic carbon (TOC) and carbon stocks (EstC) in different management systems conducted over time in the municipality of Iguatemi, MS, Brazil. a completely randomized design with four replications, with four areas located on the same rural property being studied, conducted with different management systems, namely: conventional planting, permanent pasture and eucalyptus crops, in addition to the native forest area without anthropic action. Soil collection was carried out in the 0-5, 5-10 and 10-20 cm layers, with the following analyzes: soil density (Ds), TOC levels, with later calculations of the stratification index (SI), EstC and carbon stock variation (EstC), with the forest area as a reference. Subsequently, the variables were grouped in multivariate analysis. All managed areas showed Ds values above the critical limit, higher than the forest area, reaching 1.73 Mg m⁻³. The forest area obtained higher levels and carbon stocks in all layers, when compared to the managed areas, and these did not present potential for carbon accumulation in the soil, presenting negative EstC in all evaluated layers. All areas studied had an SI greater than 1.00, with the forest area higher than the managed areas, which are similar to each other. The multivariate analysis formed two distinct groups, one containing the forest area and the other containing the management systems.

KEY WORDS: Organic matter; Soil quality; Agricultural sustainability.

INTRODUÇÃO

A transformação de ambientes naturais em ambientes de produção, somada ao manejo inadequado, pode comprometer significativamente as funções do solo, com perda da qualidade física, química e biológica, além de influenciar na dinâmica de entrada e saída de matéria orgânica do solo (MOS) (BORGES *et al.*,

2015; BARBOSA *et al.*, 2018; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2018; SALES *et al.*, 2018). Vários atributos edáficos, citando em especial a fração orgânica do solo, são facilmente alterados com a mudança da forma de manejo, tornando-os importantes indicadores da qualidade do ambiente edáfico. Perdas desta qualidade indicam o surgimento de processos erosivos, levando a uma sequência de estágios de degradação (BALOTA *et al.*, 2015).

Solos de textura arenosa e média são considerados mais frágeis, pela dificuldade de estabilidade de agregação, maior taxa de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) e dificuldade de estocagem de carbono (BAYER *et al.*, 2006) principalmente em áreas de clima tropical (KOVEN *et al.*, 2017). Em área de lavoura, onde se aplica o sistema de preparo convencional, com o revolvimento do solo, existe a quebra dos agregados e a exposição de MOS, acelerando assim sua oxidação e culminando em menores teores de carbono orgânico total (COT) (BRONICK; LAL, 2005). Além disso, alguns fatores são limitantes para a obtenção do potencial máximo de produtividade em áreas de lavoura sob sistemas de preparo convencionais, pois as alterações nos atributos do solo, principalmente a compactação, acabam prejudicando a qualidade do sistema (TRETIN *et al.*, 2018).

Em áreas com cultivo de pastagem, quando bem manejadas, as gramíneas apresentam crescimento do sistema radicular intenso que, ao ser decomposto, libera nutrientes e ainda contribui para o acúmulo de carbono (C) em subsuperfície, o que, com o passar dos anos, favorece a melhoria da qualidade física (SALES *et al.*, 2018), química (SOUZA *et al.*, 2018) e biológica (BARBOSA *et al.*, 2018; FERREIRA *et al.*, 2019) do solo. Apesar da fragilidade dos solos arenosos do ponto de vista de degradação ambiental, é possível produção de forma que contribua para diminuir os impactos ambientais. Neste contexto, as pastagens bem manejadas podem contribuir para aumentar os teores de C no solo, melhorando a sua qualidade (FERREIRA *et al.*, 2018), diferentemente do que ocorre em áreas de pastagens com alta lotação animal e outras práticas de manejo inadequadas (COLOMBO *et al.*, 2017).

O cultivo de florestas manejadas, principalmente nas regiões tropicais, tem sido apontado como meio eficiente no sequestro de C. Nesse sentido, o Brasil desponta com grande potencial de contribuição para o aumento dos estoques de C do solo e diminuição das emissões de C, pois tem 58% do seu território coberto por florestas naturais e plantadas, o que representa a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia. São estimados 485,8 milhões de hectares de florestas

nativas e 10 milhões de hectares de florestas plantadas (IBGE, 2017), porém isso somente é possível com o correto manejo destas áreas ao longo dos anos de cultivo (MEDEIROS *et al.*, 2018).

Com maior conhecimento sobre os atributos edáficos, a exemplo da quantidade e qualidade do C/MOS sob diferentes formas de manejo, é possível identificar sistemas que contribuem de forma significativa para manutenção/aumento da produtividade das áreas, e também que tragam menores impactos ambientais ao sistema solo (MARQUES *et al.*, 2015; MAGALHÃES *et al.*, 2016; KOVEN *et al.*, 2017). Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os teores e estoques de carbono orgânico total em diferentes sistemas de manejo sob solo de textura média no município de Iguatemi (MS).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO, CLIMA E SOLO DA ÁREA DE ESTUDO

As amostras de solo foram coletas em diferentes sistemas de manejo, em propriedade rural localizada no município de Iguatemi, região Cone-sul do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 1). O clima da região é subtropical (Cfa), segundo classificação de Köppen, sendo que as precipitações variam de 1.400 a 1.700 mm anuais (SEMADE, 2015). Segundo levantamento detalhado de solos do estado de Mato Grosso do Sul, as áreas do estudo se encontram sob Latossolo Vermelho, textura média (SANTOS *et al.*, 2013), com composição granulométrica na camada de 0-20 m de 626, 122 e 252 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente.

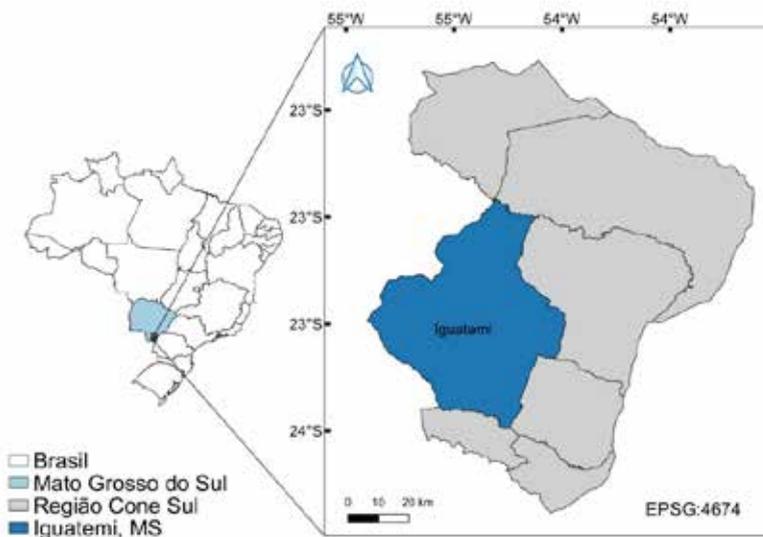


Figura 1. Localização do município de Iguatemi (MS), Brasil.

2.2 SISTEMAS AVALIADOS E HISTÓRICO DE USO

Foram avaliadas três áreas manejadas além de uma área de referência (Mata Nativa/Mata Atlântica - Floresta Estacional Semidecidual) sem ação antrópica, perfazendo quatro sistemas diferenciados analisados em delineamento inteiramente casualizado.

As três áreas manejadas compreenderam áreas com diferentes sistemas de manejo: Área de pastagem da espécie *Brachiaria brizantha*, com sinais visíveis de degradação (baixo percentual de cobertura do solo, presença de plantas daninhas em área total e erosão do tipo laminar), ocupada por pastagem desde 1990, sendo efetuada reforma da pastagem no ano de 2002 com revolvimento do solo e aplicação de 3,0 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, sendo que a área possui lotação de animais de 3,0 UA ha⁻¹, com 2,5 ha. Área de lavoura desde o ano de 2010 alternando os tipos de cultura produzidos, como plantio de soja, milho e mandioca, com 2,0 ha, manejada sob sistema de preparo convencional, com arações e gradagens anuais. Área de plantio de eucalipto, espécie *Eucalyptus urophylla*, com 1,0 ha, com entrada de gado em períodos frequentes para pastejo da vegetação de sub bosque existente. A descrição cronológica detalhada das áreas é apresentada na Figura 2.

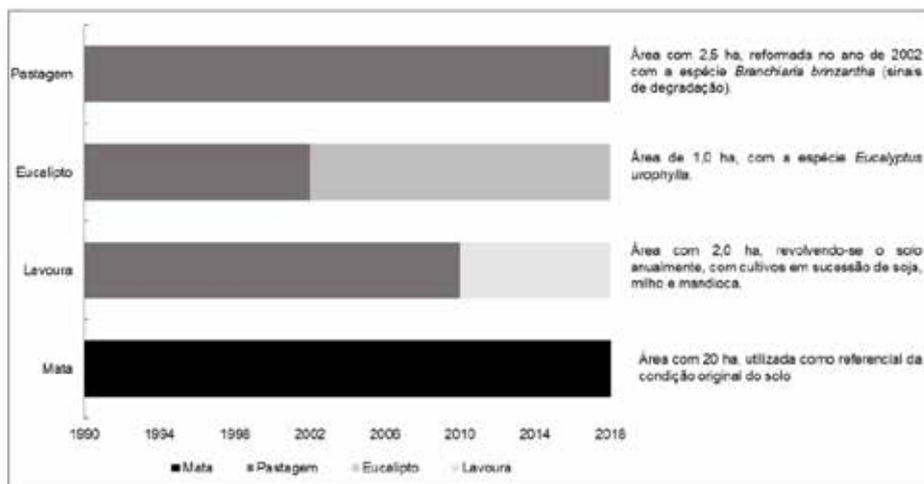


Figura 2. Histórico dos usos e mudanças do uso das áreas, com as respectivas datas de implantação de cada sistema de manejo.

2.3 COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO

Em cada área de estudo foram demarcadas quatro glebas de 400 m², nas quais foram realizadas as coletas de solo, cada gleba representou uma repetição, sendo que cada amostra composta foi representada por dez amostras simples dentro dos quatro sistemas de manejo diferenciados, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Também foram coletadas amostras indeformadas com auxílio de anel volumétrico com volume de 49,91 cm³ com quatro repetições em todas as áreas e camadas.

2.4 ANÁLISES REALIZADAS

As análises de densidade do solo (Ds) foram realizadas segundo metodologia descrita por Embrapa (1997). O carbono orgânico total (COT) foi determinado pela oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio, em meio sulfúrico, e titulado com sulfato ferroso amoniacal na presença de Ferroin, com aquecimento externo (YEOMANS; BREMNER, 1988). A partir dos resultados

obtidos, foram calculados os estoques de carbono orgânico total (EstC) segundo o método da massa equivalente (ELLERT; BETTANY, 1995; SISTI *et al.*, 2004).

Para verificar tendências de acúmulo ou perda de COT em comparação com o sistema de referência (mata nativa), foi calculada a variação do EstC (EstC, Mg ha⁻¹ cm⁻¹), sendo esse obtido pela diferença entre os valores médios de EstC neste sistema (referência) e em cada um dos demais (áreas manejadas). O valor obtido foi dividido pela espessura (cm) de cada camada. Com os resultados de COT, foi calculado também o índice de estratificação do carbono (IE) (FRANZLUEBBERS, 2002) relacionando os teores de COT da camada de 0-5 cm com a camada de 10-20 cm (camada arável).

Após todas as análises, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F, e os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

Foi utilizada também a técnica multivariada por meio da análise canônica, envolvendo as variáveis em estudo (densidade, carbono orgânico total, índice de estratificação e estoque de carbono), a partir da qual foi reduzido o conjunto de dados em combinações lineares, gerando assim os escores das duas primeiras variáveis canônicas que explicam mais de 80% da variação total (CRUZ; REGAZZI, 1994), sendo os escores projetados em gráficos bidimensionais.

Além dessa técnica, foi também utilizado o método de agrupamento de Tocher modificado, com o propósito de demonstrar os tratamentos que apresentam maior semelhança, e ainda para agrupar os diferentes sistemas de manejo a partir da matriz de distância generalizada de Mahalanobis. O gráfico com base na análise canônica foi gerado e os grupos formados por meio do agrupamento de Tocher modificado, utilizando o programa GENES (CRUZ, 2006).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a densidade do solo (Ds), pode-se observar que as três áreas manejadas apresentaram maiores valores quando comparadas à área de mata

nativa em todas as camadas avaliadas, sendo semelhantes entre si nas camadas de 0-5 cm e 10-20 cm. Todas as áreas manejadas apresentaram valores de Ds elevados, variando de 1,40 a 1,72 Mg m⁻³ nas áreas de lavoura na camada de 0-5 cm e na área de eucalipto na camada de 5-10 cm, respectivamente (Tabela 1), sendo que a maioria dos valores encontrados nestas áreas manejadas se encontram acima dos limites críticos para o desenvolvimento de plantas apontados em vários trabalhos na literatura; de 1,30 Mg m⁻³ (REICHERT *et al.*, 2003), 1,38 Mg m⁻³ (TRENTIN *et al.*, 2018), 1,42 Mg m⁻³ (KLEIN; CAMARA, 2007) e 1,60 Mg m⁻³ (SILVA; ROSOLEM, 2001).

Tabela 1. Densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EstC) nos diferentes sistemas de manejo sob solo de textura média

Sistema de manejo	Ds Mg m ⁻³	COT g kg ⁻¹	EstC Mg ha ⁻¹
0-5 cm			
Pastagem	1,57a	8,76b	4,26b
Eucalipto	1,51a	7,72b	3,74b
Lavoura	1,40a	9,09b	4,41b
Mata	0,97b	21,95a	8,76a
CV(%)	6,00	10,40	11,50
5-10 cm			
Pastagem	1,63ab	7,07b	3,99b
Eucalipto	1,72a	6,96b	3,92b
Lavoura	1,47b	8,52b	4,78b
Mata	1,12c	16,34a	7,60a
CV(%)	5,50	12,50	19,60
10-20 cm			
Pastagem	1,62a	8,22b	9,67b
Eucalipto	1,61a	7,71b	9,04b
Lavoura	1,48a	7,47b	8,78b
Mata	1,18b	13,75a	14,79a
CV(%)	5,40	10,50	10,90

Médias seguidas de letras iguais na coluna, em cada camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV = coeficiente de variação.

Limite crítico diz respeito ao valor de Ds no qual, acima deste, as plantas começam a ter restrição ao crescimento, com conseqüente prejuízos ao desenvolvimento da planta. Já Freitas *et al.* (2017) verificaram em estudo que envolveu sistemas de manejos e usos do solo, que todos eles promoveram aumento na Ds, porém os valores obtidos não atingiram valores impeditivos ao crescimento radicular.

Os maiores valores de Ds nas áreas de pastagem (variando de 1,57 a 1,63 Mg m⁻³), eucalipto (variando de 1,51 a 1,72 Mg m⁻³) e lavoura (variando de 1,40 a 1,48 Mg m⁻³) (Tabela 1), nos quais evidenciam camadas compactadas, devem-se ao pastejo e conseqüente pisoteio animal nas áreas de pastagem e eucalipto devido à alta lotação animal nestas áreas, e ao revolvimento frequente do solo na área de lavoura cultivado em sistema de preparo convencional. Valores estes semelhantes aos encontrados por Ferreira *et al.* (2018) em cultivos de pastagens por até três anos no estado do Paraná. Porém, quando se comparam os valores de Ds deste estudo com vários trabalhos da literatura realizados em diferentes tipos de solos em diversas regiões brasileiras (ROSSET *et al.*, 2014; CAMPOS *et al.*, 2016; ROCHA *et al.*, 2016; COUTINHO *et al.*, 2017; COSTA; CUNHA NETO *et al.*, 2018; DRESCHER, 2018), os valores de Ds aqui apresentados nas áreas de pastagem, eucalipto e lavoura em sistema preparo convencional são elevados. Como resultado, tem-se limitação do solo, com redução nas trocas gasosas e menor infiltração e redistribuição de água (RIENZI *et al.*, 2016).

Nesse contexto, alguns autores relatam que a substituição do sistema preparo convencional para o sistema plantio direto se mostra como alternativa para a redução nas operações de preparo do solo e, conseqüentemente, ao longo do tempo, com contribuição para a diminuição dos valores de Ds (MACHADO *et al.*, 2014; REIS *et al.*, 2016; ROSSET *et al.*, 2016), quando da sua utilização seguindo seus princípios básicos (ANGHINONI, 2007), ou também quando se tem cultivos de pastagens (COUTINHO *et al.*, 2017; CUNHA NETO *et al.*, 2018) e eucalipto (CARVALHO *et al.*, 2017; CUNHA NETO *et al.*, 2018) bem manejados.

Quando não se tem utilização de práticas conservacionistas de cultivo do solo, como o sistema plantio direto, nas áreas de lavoura cultivadas por longo tempo, como observado nesse estudo, o revolvimento mínimo do solo com escarificadores

em determinado período de tempo, pode ter efeito significativo na descompactação do solo nas camadas subsuperficiais compactadas, como relatado nos trabalhos de Ferreras *et al.* (2000) e Drescher *et al.* (2016). Porém, trabalhos recentemente publicados na literatura indicam que a utilização de plantas de cobertura em um sistema de rotação mais diversificado tem grande potencial de diminuição da Ds ao longo do tempo de cultivo (ALBRECHT *et al.*, 2018; LOSS *et al.*, 2017; MARTINS *et al.*, 2016).

Diferente do observado nas áreas manejadas, a área de mata nativa apresentou os menores valores para Ds, especialmente na camada de 0-5 cm, variando de 0,97 a 1,18 Mg m⁻³ (Tabela 1). Esse fato deve-se à ausência de qualquer tipo de manejo de solo ou pastejo animal nessa área e em razão da vegetação existente, que proporciona elevada presença de raízes e deposição de material orgânico. Loss *et al.* (2017) e Rosset *et al.* (2014; 2016) relatam que a presença de maior material orgânico depositado em superfície proporciona aumento dos teores de COT, especialmente em camadas superficiais, melhorando a estruturação do solo pela formação de agregados mais estáveis ao longo do tempo, com consequente aumento do espaço poroso e diminuição da Ds.

Tanto para o COT quanto para os valores de EstC foram observados em todas as camadas avaliadas teores semelhantes entre as três áreas manejadas, sendo inferiores aos teores da área de mata nativa, variando de 6,96 a 9,09 g kg⁻¹ nas áreas manejadas e 13,75 a 21,95 g kg⁻¹ na área de mata nativa para o COT e 3,74 a 9,67 Mg ha⁻¹, nas áreas manejadas, e 7,60 a 14,79 Mg m⁻³ na área de mata nativa (Tabela 1). Os maiores teores e estoques de COT na área de mata se devem ao aporte constante de resíduos vegetais sobre a superfície do solo e também à não perturbação do sistema (ROSSET *et al.*, 2016; REIS *et al.*, 2018; ASSUNÇÃO *et al.*, 2019), diferentemente das áreas manejadas, onde houve mobilização do solo em determinados períodos de tempos no momento da modificação dos sistemas de manejo, além do pastejo intensivo.

Os menores teores e estoques de COT encontrados nas três áreas manejadas demonstram que nenhum dos sistemas foram eficientes em acumular C no solo ao longo do tempo, evidenciando falhas na forma de manejo adotado, pois não houve contribuições de entradas de C no solo quando da substituição da mata

nativa pelos cultivos e, por consequência, com prejuízos a qualidade do ambiente edáfico. A substituição de ambientes de mata nativa por áreas manejadas, associado ao mau manejo destas áreas, pode levar a importantes mudanças no EstC do solo e, conseqüentemente, na ciclagem desse elemento. A eliminação da vegetação florestal e sua substituição por agroecossistemas produzem efeitos negativos no ciclo de C, mediante a liberação simultânea de grandes quantidades de C acumuladas nos ecossistemas florestais ao longo do tempo (HARRIS *et al.*, 2012; ZARIN, 2012). Em sistemas agrícolas, os EstC são também influenciados pelo manejo adotado, com a adição diferenciada de resíduos ao solo (BARBOSA *et al.*, 2017), pois um manejo do solo inadequado resulta um rápido declínio do EstC (MASCARENHAS *et al.*, 2017).

Tanto para os teores de COT quanto para os EstC, a área de lavoura não foi eficiente em acumular C no solo mesmo nas camadas mais superficiais, como na camada de 0-5 cm (Tabela 1), como geralmente acontece em áreas cultivadas com sistema plantio direto ao longo do tempo (ANGHINONI, 2007). Além do sistema de preparo convencional aqui adotado com intenso revolvimento do solo, as condições climáticas favoreceram a rápida decomposição desses resíduos. Isso indica a importância da utilização de culturas com maior relação C/N para favorecer a formação de palhada e tentativa de aumentar os teores de COT ao longo dos anos de cultivo.

A adoção de sistemas mais diversificados em relação a espécies cultivadas propicia benefícios no acúmulo de COT no solo (BODDEY *et al.*, 2010). Sistemas de manejo com lavouras, pastagens e cultivos florestais, quando manejados corretamente, podem beneficiar as entradas de C no sistema, conseqüentemente aumentar os EstC, com potencial de contribuição para melhoria da qualidade dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (BELL; MOORE, 2012), uma vez que a quantidade de resíduos que entra no sistema influencia a taxa de adição de C ao solo (JOHNSTON *et al.*, 2009). A frequência e tamanho desse processo depende da quantidade e também da qualidade dos resíduos depositados sobre a superfície do solo (MAGALHÃES *et al.*, 2016), além do tempo de manejo (SALTON *et al.*, 2008) e condições climáticas (KOVEN *et al.*, 2017).

A área de pastagem, devido ao mau manejo, também não foi eficiente no acúmulo de COT em camadas mais profundas, o que geralmente acontece em

áreas de cultivo de pastagens bem manejadas (SANTOS *et al.*, 2019). A conversão da vegetação nativa em pastagens e cultivos agrícolas e silvícolas e, principalmente, o uso e manejo subsequentes, são fatores que controlam a redução, o aumento ou a manutenção dos EstC no solo (CUNHA *et al.*, 2017). Assim, devido ao fato de que na área de mata o favorecimento dos processos de humificação da matéria orgânica pela ausência de ação antrópica, entre elas a queima e revolvimento dos materiais em decomposição e compactação do solo, favorecem aumento dos EstC.

Mudanças nos sistemas de manejo têm efeito direto no balanço de C do solo (SALTON *et al.*, 2008), influenciadas também pela dificuldade de se acumular C em regiões de clima tropical (KOVEN *et al.*, 2017). Além disso, na área de mata nativa, por não haver perturbação do sistema observa-se acúmulo de COT em superfície (Tabela 1). A diminuição dos teores de COT em profundidade demonstra a contribuição mais efetiva das entradas de C na camada mais superficial em relação às camadas de 5-10 e 10-20 cm, fato comum em áreas sem influência antrópica (SALES *et al.*, 2018).

Com relação ao índice de estratificação (IE), verificam-se, em todas as áreas estudadas, valores acima da unidade (Figura 3), o que segundo Franzluebbbers (2002), indicam maior qualidade da fração orgânica do solo. Além disso, pode-se observar na Figura 3 a variação de 1,01 a 1,22 entre as áreas manejadas, destacando a semelhança entre elas, sendo estas diferentes da área de mata nativa, que apresentou valor para o IE de 1,60. Maior estratificação de COT em áreas nativas se deve à contínua entrada de C e à não ação antrópica nessas áreas, elevando substancialmente os teores de COT em camada superficial (SANTOS *et al.*, 2017).

Tal semelhança do IE para as áreas manejadas (Figura 3) pode ser influenciada pelo fato de que as concentrações de C foram semelhantes, isso também considerando o padrão de distribuição no perfil de 0-20 cm. Esses resultados corroboram os teores e estoques de COT apresentados por essas áreas manejadas (Tabela 1), ou seja, nenhum dos sistemas manejados contribuiu para a maior entrada de C em superfície, pois a estratificação do C destas áreas foi inferior à observada pela área de mata nativa (Figura 3). Rosset *et al.* (2014) encontraram valores de até 3,43 para área de mata nativa com a mesma fitofisionomia usada como referência. Em trabalho em área nativa de Cerrado em Mato Grosso do Sul, Salton *et*

al. (2008) observaram valores de IE chegando a 3,05, ou seja, maiores do que neste estudo. Além disso, os autores destacaram que a utilização deste indicador possui como vantagem a facilidade de sua obtenção, dependendo apenas de valores para COT em duas camadas de solo, o que potencializa sua utilização como indicador de qualidade do solo.

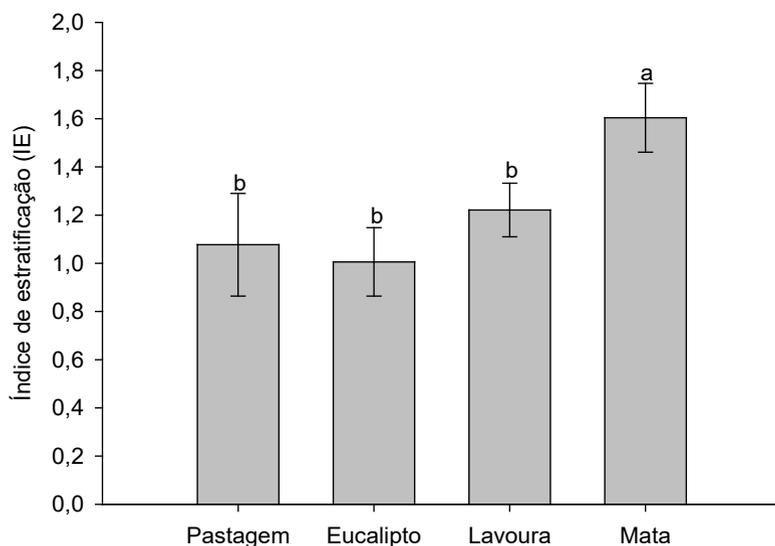


Figura 3. Índice de estratificação (IE) do carbono orgânico total em função dos diferentes sistemas de manejo sob solo de textura média.

Observou-se redução acentuada nos EstC em todas as áreas manejadas e em todas as camadas, especialmente na camada de 0-5 cm em relação à área de mata nativa, o que indica maior susceptibilidade da oxidação do COT nesta camada do solo submetido a sistemas de manejo que não conseguem acumular carbono no perfil do solo, como é o caso dos sistemas manejados deste estudo (Figura 4). As alterações da vegetação, além das práticas de manejo, influenciam os EstC, pois podem alterar as taxas de adição e perda da MOS ao longo do tempo de cultivo, também em função de outras características, como climáticas (PLAZA-BONILLA *et al.*, 2010). Além disso, em sistemas de manejo de regiões tropicais, existe maior dificuldade em aumentar os teores e EstC do solo (KOVEN *et al.*, 2017).

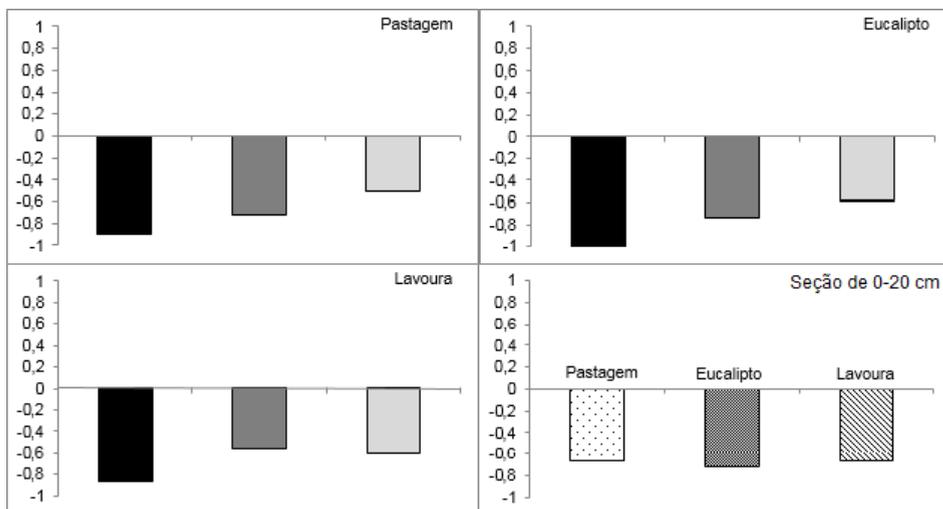


Figura 4. Variação do estoque de COT (Δ EstC) das áreas manejadas nas camadas de 0-5 cm (■), 5-10 cm (■) e 10-20 cm (■) em relação à área de mata nativa, e na seção de 0-20 cm sob solo de textura média.

Avaliando o perfil de 0-20 cm, ou seja, quando se consideram os EstC em todas as três camadas estratificadas avaliadas conjuntamente, também houve variação negativa nos EstC, sendo mais acentuada na área de eucalipto, seguida das áreas de lavoura e pastagem (Figura 4). Pastagens degradadas, áreas de lavoura ou silvícolas de baixo potencial adicionam reduzida quantidade de resíduos vegetais na superfície, comprometendo o acúmulo de C no solo com o passar dos anos de cultivo (MASCARENHAS *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2016; SIQUEIRA NETO *et al.*, 2009).

A análise multivariada foi realizada a partir dos dados dos atributos Ds, COT, IE e EstC, onde a primeira e a segunda variável canônica corresponderam a 99,99% da variação total, sendo que a análise em agrupamento permitiu a formação de dois grupos distintos, um formado pela área de mata e o segundo pelos sistemas de manejo avaliados (Figura 5). Este resultado indica que nenhum dos sistemas empregados nas áreas manejadas contribuiu para a melhoria da qualidade edáfica das mesmas, pois nenhuma área manejada se aproximou das características apresentadas pela área de mata nativa, considerada referencial de qualidade edáfica neste estudo. Ou seja, as diferentes formas de manejo empregadas precisam de ajustes para que as áreas manejadas possam melhorar a qualidade dos atributos edáficos avaliados e, consequentemente, potencializar a produção agropecuária

com vistas também à melhoria ambiental. Esses resultados demonstram que, dependendo do manejo adotado, impactos no ambiente edáfico por sistemas que não preconizam a conservação do solo promovem alterações nos atributos do solo (BALIN *et al.*, 2017).

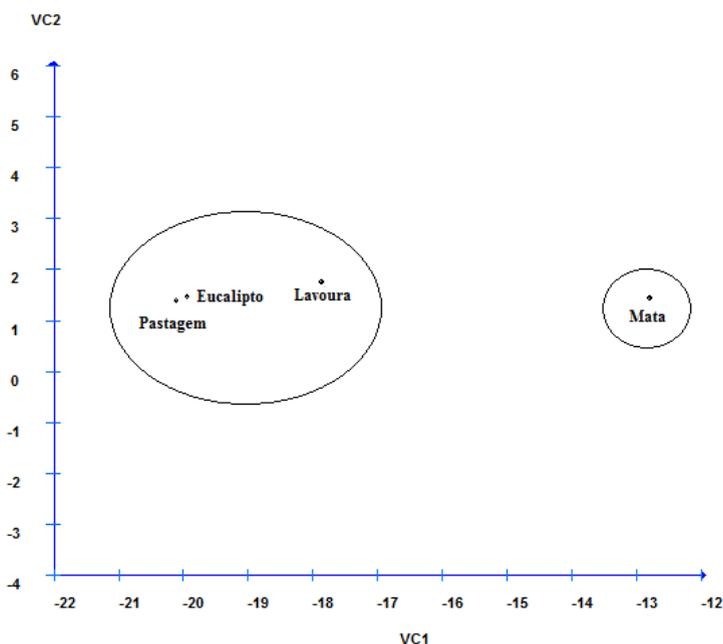


Figura 5. Dispersão dos diferentes sistemas de uso e manejo e agrupamento pelo método de Tocher modificado das duas variáveis canônicas em função dos atributos do solo avaliados.

4 CONCLUSÕES

As áreas manejadas apresentam menores teores e estoques de carbono orgânico total, além de maiores valores de densidade do solo, sugerindo perdas na estocagem de carbono devido ao manejo, além da presença de camadas compactadas em subsuperfície.

Os valores para o índice de estratificação das áreas manejadas foram superiores a um, porém com valores inferiores à área de referência, evidenciando baixo potencial de estratificação de carbono.

Nenhuma área manejada se aproximou das características apresentadas pela área de mata nativa, considerada referencial de qualidade do solo.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, L. P.; KRENCHINSKI, F. H.; GOMES, A. O.; ALBRECHT, A. J. P.; MATTIUZZI, M. D.; CASSOL, M. Performance of fall and winter crops in a no tillage system in west Paraná State. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 40, n. 2, p. 1-9, 2018.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007, cap. 6, p. 873-928.
- APPS, M. J. Forests, the global carbon cycle and climate change. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 5, p. 10-13, 2007.
- ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005.
- ASSUNÇÃO, S. A.; PEREIRA, M. G.; ROSSET, J. S.; BERBARA, R. L. L.; GARCÍA, A. C. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 658, n. 1, p. 901-911, 2019.
- BALIN, N. M.; ZIECH, A. R. D.; OLIVEIRA, J. P. M.; GIRARDELLO, V. C.; STUMPF, L.; CONCEIÇÃO, P. C. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso. *Scientia Agraria*, v. 18, n. 3, p. 85-94, 2017.
- BALOTA, E. L.; YADA, I. F. U.; AMARAL, H. F.; NAKATANI, A. S.; HUNGRIA, M.; DICK, R. P.; COYNE, M. S. Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 4, p. 1003-1014, 2015.

BARBOSA, E. A. A.; MATSURA, E. E.; SANTOS, L. N. S.; NAZÁRIO, A. A.; GONÇALVES, I. Z.; FEITOSA, D. R. C. Soil attributes and quality under treated domestic sewage irrigation in sugarcane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 137-142, 2018.

BAYER, C.; MATIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVANATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, v. 111, n. 7, p. 1-12, 2012.

BLAIRG, J.; LEFROY; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 2000.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEICAO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; GIACOMINI, S. J. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010.

BORGES, C.; RIBEIRO, B. T.; WENDLING, B.; CABRAL, D. A. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, n. 3, p. 26-28, 2015.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, p. 339-349, 2016.

CARVALHO, D. C.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; SIMON, C. A.; TOLEDO, L. O.; PICCOLO, M. C. Carbono, nitrogênio e abundância natural de ¹³C do solo em coberturas florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 4, p. 1-10, 2017.

COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; LIMA, S. O. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Campo Digital**, v. 12, n. 1, p. 21-29, 2017.

COSTA, L. M.; DRESCHER, M. S. Implications of agricultural management on the epigeic fauna and soil physical properties of a clayey Oxisol. **Revista Ceres**, v. 65, n. 5, p. 443-449, 2018.

COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G.; GUARESCHI, R. F.; ASSUNÇÃO, S. A. Atributos edáficos em áreas de agricultura, pastagem e três estágios sucessionais de floresta. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 4, p. 1-11, 2017.

CRUZ, C. D. **Programa genes**: biometria. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 382p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. 394p.

CUNHA, J. M.; GAIO, D. C.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; LIMA, A. F. L. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. **Ambiente & Água**, v. 12, n. 2, p. 263-281, 2017.

CUNHA NETO, F. V.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S.; ABEL, E. L. S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba - MG. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 13-24, 2018.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 712p.

FERREIRA, C. J. B.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; FRANCO, H. H. S.; MOREIRA, W. H.; GALBEIRO, S.; RIBEIRO, O. L. Soil physical properties under a 'Tanzânia' grass pasture fertilized with mineral nitrogen or intercropped with stylosanthes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 4, p. 478-486, 2018.

FERREIRA, C. R.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Diversity of the edaphic macrofauna in areas managed under no-tillage for different periods. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 599-610, 2019.

FERRERAS, L. A.; COSTA, J. L.; GARCIA, F. O.; PECORARI, C. Effects of no tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern “Pampa” of Argentina. **Soil & Tillage Research**, v. 54, n. 1-2, p. 31-39, 2000.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil & Tillage Research**, v. 66, n. 2, p. 95-106, 2002.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, p. 8-25, 2017.

HARRIS, N. L.; BROWN, S.; HAGEN, S. C.; SAATCHI, S. S.; PETROVA, S.; SALAS, W.; HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; LOTSCH, A. Baseline map of carbon emissions from deforestation in tropical regions. **Science**, v. 336, n. 6088, p. 1573-1576, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIDRA - Banco de tabelas estatísticas. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Disponível em: <http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=5930&z=t&o=29&i=P>. Acesso em: 19 nov. 2018.

JOHNSTON, A. E.; POULTON, P. R.; COLEMAN, K. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. **Advances in Agronomy**, v. 101, n. 1, p. 1-57, 2009.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2007.

KOVEN, C. D.; HUGELIUS, G.; LAWRENCE, D. M.; WIEDER, W. R. Higher climatological temperature sensitivity of soil carbon in cold than warm climates. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 11, p. 817-822, 2017.

LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E.; SCHMITZ, D.; VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v. 11, n. 1, p. 105-113, 2017.

MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, v. 9, n. 3, p. 289-299, 2014.

MAGALHÃES, S. S. A.; RAMOS, F. T.; WEBER, O. L. S. Carbon stocks of an Oxisol after thirty-eight years under different tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 85-91, 2016.

MARQUES, J. D. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; SARRAZIN, M.; FERREIRA, S. J. F.; BELDINI, T. P.; MARQUES, E. M. D. A. Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of central Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 232-242, 2015.

MARTINS, D.; GONÇALVES, C. G.; SILVA JUNIOR, A. C. Coberturas mortas de inverno e controle químico sobre plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 649-657, 2016.

MASCARENHAS, A. R. P.; SCCOTI, M. S. V.; MELO, R. R.; CORRÊA, F. L. O.; SOUZA, E. F. M.; ANDRADE, R. A.; BERGAMIM, A. C.; MULLER, M. W. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, p. 19-27, 2017.

MEDEIROS, A. S.; SILVA, T. S.; SILVA, A. V. L.; BARROS, D. R. S.; MAIA, S. M. F. Organic carbon, nitrogen and the stability of soil aggregates in areas converted from sugar cane to eucalyptus in the state of Alagoas. **Revista Árvore**, v. 42, n. 4, p. 1-10, 2018.

OLIVEIRA, W. R. D. D.; RAMOS, M. L. G.; CARVALHO, A. M. D.; COSER, T. R.; SILVA, A. M. M.; LACERDA, M. M.; PULROLNIK, K. Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1501-1510, 2016.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; SCHNEIDER, L. F.; TELES, J. S.; WERTER, S. D.; SANTOS, J. C. P. Fauna edáfica em áreas com diferentes manejos e tempos de descarte de resíduos animais. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 1, p. 113-123, 2018.

PLAZA-BONILLA, D.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; ÁLVARO-FUENTES, J. Tillage effects on soil aggregation and soil organic carbon profile distribution under Mediterranean semi-arid conditions. **Soil Use Management**, v. 26, n. 4, p. 465-474, 2010.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciências & Ambiente**, v. 27, n. 2, p. 29-48, 2003.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; BAMBERG, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1623-1632, 2016.

REIS, V. R. R.; DEON, D. S.; MUNIZ, L. C.; SILVA, M. B.; REGO, C. A. R. M.; GARCIA, U. C.; CANTANHÊDE, I. S. L.; COSTA, J. B. Carbon stocks and soil organic matter quality under different of land uses in the Maranhense Amazon. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 5, p. 329, 2018.

RIENZI, E. A.; MAGGI, A. E.; SCROFFA, M.; LOPEZ, V. C.; CABANELLA, P. Modelagem espacial do estado autorregressivo da densidade do solo e do carbono orgânico em campos sob diferentes sistemas de plantio direto. **Pesquisas de Solo e Plantio Direto**, v. 159, n. 1, p. 56-66, 2016.

ROCHA, J. E. C.; BRASIL NETO, A. B.; NORONHA, N. C.; GAMA, M. A. P.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, A. R.; SANTOS, C. R. C. Organic matter and physical-hydric quality of an oxisol under eucalypt planting and abandoned pasture. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 381-388, 2016.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M.; SEIDEL, E. P. Carbon stock, chemical and physical properties of soils undermanagement systems with different deployment times in western region of Paraná, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 3053-3072, 2014.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes

sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1529-1538, 2016.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2018.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SANTOS, F. A. S.; PIERANGELI, M. A. P.; SILVA, F. L.; SERAFIM, M. E.; SOUSA, J. B.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 43-53, 2017.

SANTOS, C. A.; REZENDE, C. D. P.; PINHEIRO, É. F. M.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B. J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil. **Geoderma**, v. 337, n. 3, p. 394-401, 2019.

SEMADE - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. **Estudo da Dimensão Territorial do Estado de Mato Grosso do Sul: Regiões de Planejamento**. Governo do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2015. 91p.

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

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of

conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOUZA, L. C.; FERNANDES, C.; MOITINHO, M. R.; BICALHO, E. S.; LA SCALA JR, N. Soil carbon dioxide emission associated with soil porosity after sugarcane field reform. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, p. 1-15, 2018.

TRENTIN, R. G.; MODOLO, A. J.; VARGAS, T. O.; CAMPOS, J. R. R.; ADAMI, P. F.; BAESSO, M. M. Soybean productivity in Rhodic Hapludox compacted by the action of furrow openers. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, p. 1-9, 2018.

YEOMANS, A.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication Soil Science Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

ZARIN, D. J. Carbon from tropical deforestation. **Science**, v. 336, n. 6088, p. 1518-1519, 2012.

Recebido em: 21/11/2018

Aceito em: 12/09/2019