

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE MUNDO NOVO
TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

PAULO GUILHERME DA SILVA FARIAS

**FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO
MINERALIZÁVEL DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS
DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE AQUIDAUANA, MS**

Mundo Novo - MS

Outubro/2019

PAULO GUILHERME DA SILVA FARIAS

**FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO
MINERALIZÁVEL DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS
DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE AQUIDAUANA, MS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset

Mundo Novo – MS

Outubro/20

PAULO GUILHERME DA SILVA FARIAS

**FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO
MINERALIZÁVEL DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS
DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE AQUIDAUANA, MS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

APROVADO EM 18 de outubro de 2019

Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset - Orientador – UEMS



Prof. Dr. Paulo Ricardo Lima – UEMS



Tec. Amb. Jefferson Matheus Barros Ozório – UEMS



*A minha família e amigos que de alguma forma
contribuíram para que este feito fosse concluído.*

AGRADECIMENTOS

Quando alguém decide traçar um determinado caminho, diversos fatores influenciam sua jornada, uma dessas variáveis, são as pessoas, que, podem influenciar de várias maneiras. Aqui destaco as pessoas que influenciaram positivamente em minha caminhada para chegar até minha graduação.

Primeiramente, agradeço as duas pessoas que me trouxeram ao mundo, meus pais, Cleidineia Ferreira da Silva e Elzio do Nascimento Farias, vocês, mesmo com suas diferenças, me deram valores, educação, respeito e honestidade. Me ensinaram que vale a pena o trabalho, que para conquistar devemos batalhar, e que nada na vida será fácil, mas que sempre terei um alicerce, alguém que posso contar para tudo. Muito obrigado por sempre acreditarem em mim.

Agradeço também a minha querida namorada Camila Beatriz da Silva Souza. Foi com você que dividi meus piores e melhores momentos, foi com você que passei e estou passando a melhor fase da minha vida, é você que me dá forças para persistir no meu sonho, que sempre está ao meu lado para o que der e vier. Não posso deixar de agradecer a você, como pesquisadora, por toda sua contribuição durante a realização do projeto de pesquisa, pois foi com você que dividi todo meu trabalho. Obrigado pela confiança em mim depositada, obrigado por estar junto comigo no laboratório durante todo tempo do projeto, de domingo a domingo nos dias de titulação, foi um prazer imensurável trabalhar com você, à ti meus sinceros agradecimentos, pois sem você, nada disso seria possível.

A todos os meus amigos, que fizeram direta ou indiretamente parte deste feito, amigos de ensino médio, que levarei para toda minha vida; Camila Beatriz, Lucas Ricardo, Douglas, Thiago Willian e Maria Carolina, com vocês aprendi muitas coisas, foi muito gratificante ter dividido três anos da minha vida com vocês. Agradeço também a Marta Rozelin, a “Tia Martinha”, você é uma pessoa muito especial pra mim, obrigado por tudo que fez por mim durante a época de escola agrícola. A minha irmã, Maria Bianca, por estar comigo e me ajudar sempre que necessitei. Agradeço aos meus amigos Fernando Pascoal, Maycon Vinícius, José Mário, Davi, Luiz Gustavo, Alemar, Lucas Kaiser, Marco Antonio e João Victor, obrigado por todos os momentos de treinos e conversas, isso me ajudou muito durante a faculdade. Muito obrigado a todos vocês.

Aos meus tios, Paulo Ferreira da Silva e Elessandra Pascoal de Oliveira, muito obrigado por terem me ajudado a ingressar na escola agrícola, e por me darem todo subsídio necessário para que eu me mantivesse lá, sou muito grato a vocês.

Ao meu tio Elbis do Nascimento Farias, por ter aberto as portas de sua casa sem hesitar no momento em que precisei para a realização do meu estágio obrigatório quando estava na escola agrícola, te agradeço do fundo do coração por ter sido e ser até hoje tão companheiro comigo.

Aos meus companheiros do laboratório de Ciência do Solo, Jefferson Matheus, Ozielly Maiane, Lucas Daniel e Cassiana, pela ajuda durante a pesquisa, sempre estando dispostos a auxiliar, pelos momentos de conversa e pela companhia, muito obrigado.

Agradeço ao Prof. Dr. Elói Panachuki por disponibilizar as suas parcelas experimentais para a realização de nossas coletas. Agradeço também toda a equipe que auxiliou nas coletas de solo: Jefferson, Felipe, Karina, Roniedson, Gabriel, Rafael e Jean, muito obrigado a todos vocês.

Aos professores que tanto me incentivaram, auxiliaram e me passaram muitos conhecimentos, a Prof^a. Dra. Rafaella Caroline Bernardi e Prof. Me. Wagner Lopes Klein, por toda a ajuda em congressos e conhecimentos transmitidos, muito obrigado.

Agradeço em especial ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset, por toda confiança, cobrança, críticas construtivas, comentários, todo o tempo para correções e toda paciência que teve comigo durante o desenvolvimento do projeto. Também agradeço por todo o suporte que deu a mim e a Camila quando no mudamos para Mundo Novo, por ter se disponibilizado a procurar casas e nos levar para a UEMS todos os dias no início. Nada do que fizemos seria possível sem você, a sua ajuda foi essencial para tudo isso, muito obrigado por tudo.

Agradeço a Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul pela concessão da bolsa de iniciação científica, e pela oportunidade de ter um estudo gratuito e de qualidade, e também a todo seu corpo docente que fez parte da minha graduação, muito obrigado.

“Não estamos simplesmente no universo, somos parte dele. Nascemos a partir dele. Poder-se-ia até dizer que o universo nos tornou capazes de imaginá-lo, aqui em nosso pequeno canto do cosmos. E apenas começamos a fazê-lo”

Neil deGrasse Tyson

RESUMO

Sistemas conservacionistas são capazes de manter ou até mesmo incrementar os teores de carbono orgânico total (COT) e melhorar a qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) com relação a vegetação nativa. O objetivo do trabalho foi caracterizar fisicamente a MOS em diferentes sistemas de manejo no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul. O solo foi coletado em cinco áreas manejadas: solo exposto (SE), sistema preparo convencional (SPC), sistema plantio direto (SPD), pastagem permanente (PP) e cana-de-açúcar (CA), além de uma área de mata nativa (MN) como referência, sendo as coletas nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Foram realizadas as análises densidade do solo (Ds), COT e cálculo do índice de estratificação (IE), fracionamento físico-granulométrico da MOS, com posteriores determinações dos teores de carbono da matéria orgânica particulada (MOP) e mineral (MOM), além do cálculo de seus respectivos estoques (EstMOP e EstMOM) e índices: índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC), e também avaliação da emissão de carbono mineralizável (C-CO₂) do solo. Observou-se na PP menor Ds nas duas primeiras camadas, e na camada de 0,10-0,20 na MN. As áreas de PP e SPD apresentaram os maiores teores de COT na camada superficial. Para as demais camadas, a PP apresentou maiores teores, diferentemente da área de SE e SPC. O SPD apresentou maior valor do IE entre os sistemas manejados, semelhante a MN, já o SPC o menor. As áreas PP, CA e MN foram semelhantes nos teores de C-MOP, sendo superiores as demais áreas, já o SE e SPC os menores teores. Na primeira camada, às áreas de PP e SPD apresentaram os maiores teores de C-MOM, nas demais camadas na PP, diferentemente do observado na área de SE. A PP apresentou maior valor de IEC, ou seja, maior estocagem de COT em relação a MN. Para a L, na primeira camada as áreas de SE, PP, CA e MN não diferiram entre si, para as demais camadas a MN e CA apresentaram os maiores valores. Já o SPC apresentou menor proporção de C-MOP por C-MOM. Analisando o IMC, as áreas de PP e CA foram semelhantes a MN em todas as camadas, já o SE e SPC foram os sistemas com menor IMC. De modo geral houve predomínio do C-MOM em relação ao C-MOP. As áreas de PP, CA e MN foram os sistemas com maiores EstMOP. Na camada de 0-0,05 m as áreas de PP e SPD tiveram maiores EstMOM, já nas demais camadas a área de PP. A área de SE apresentou menores EstMOP e EstMOM. Para a Δ EstMOP dos sistemas, em todas as camadas e na seção 0-0,20 m, houve variação negativa em relação a MN. Considerando a Δ EstMOM, apenas SE e SPC tiveram variação negativa. As áreas de PP, CA e SPD são eficientes melhorar a qualidade do solo em relação a fração orgânica após seis anos de cultivo, diferentemente do observado nas áreas com revolvimento intenso do solo.

Palavras-chave: Carbono orgânico total. Matéria orgânica particulada. Qualidade do solo.

SUMÁRIO

1. Introdução	9
2. Objetivos	10
2.1. Objetivo geral	10
2.2. Objetivos específicos	10
3. Metodologia	11
3.1. Caracterização da área de estudo	11
3.2. Realização das coletas de solo	14
3.3. Processamento de amostras e análises realizadas	16
4. Resultados e discussão	19
4.1. Densidade do solo	19
4.2. Carbono orgânico total e índice de estratificação	20
4.3. Frações físicas e índice de manejo de carbono	23
4.4. Representatividade das frações físicas	26
4.5. Estoque e variação do estoque de MOP e MOM	27
4.6. Carbono mineralizável e acúmulo de CO ₂ do solo	30
5. Considerações finais	32
Referências	33

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional tem provocado crescente demanda por alimentos. E essa crescente demanda tem influência no uso e ocupação do solo, pois 99,7% dos alimentos produzidos vêm dos ambientes terrestres, tendo o solo como principal suporte a produção agropecuária em todos os países do mundo (BANWART et al., 2011). Por isso, é imprescindível que o solo seja manejado corretamente a fim de oferecer condições favoráveis para o suprimento de água, oxigênio e nutrientes para as plantas, possibilitando a mesma expressar seu potencial genético produtivo (BLAINSKI et al., 2012). Desta forma, o sistema de manejo empregado exerce forte influência na qualidade do ambiente edáfico, e pode alterar seus atributos físicos, químicos e biológicos. De acordo com Drescher et al. (2012), a adoção de modelos agrícolas inadequados vem promovendo a degradação do solo em várias regiões do planeta.

Sistemas de manejo conservacionistas, como o sistema plantio direto (SPD) e pastagens bem manejadas são capazes de manter ou até mesmo incrementar o conteúdo de carbono orgânico total (COT) e das frações da matéria orgânica do solo (MOS), contribuindo para manutenção da capacidade produtiva e para mitigação da emissão de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera em comparação com sistemas de manejo com revolvimento intenso do solo (FOLEY et al., 2005).

A compreensão da dinâmica da MOS em diferentes sistemas de manejo auxilia na adoção de práticas que contribuem para a melhoria da qualidade do solo (QS) (ROSSI et al., 2011). Um dos métodos para se avaliar a QS é pela análise dos compartimentos de MOS, como o carbono (C) das frações físicas da MOS (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992; CONCEIÇÃO et al., 2005). Dentre essas frações, está o carbono lábil/matéria orgânica particulada (MOP), que tem um alto potencial de indicador de QS (BONGIORNO et al., 2019), principalmente em curto período de tempo (BAYER et al., 2002; FELLER; BEARE, 1997) e o C mais recalcitrante/matéria orgânica mineral (MOM), que é a fração mais estável da MOS (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992), sendo menos sensível as alterações em curto período de tempo (ROSSI et al., 2012)

Para o fracionamento do C nos diferentes compartimentos do solo, têm sido utilizadas várias técnicas, dentre as quais a técnica de separação da MOS em frações físico-granulométricas se destaca (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). Pelo fracionamento físico-granulométrico, são separados por peneiramento via úmida a MOP, na fração lábil maior que

53 μm , e a MOM, menor que 53 μm (CONCEIÇÃO et al., 2005), com posteriores cálculos do conteúdo de C de cada uma delas.

A partir de dados do fracionamento físico-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 (vegetação em estado natural). O IMC é uma ferramenta útil para analisar os efeitos das diferentes práticas de manejo, pois analisa numa mesma medida, os efeitos do tipo de sistema adotado na quantidade e qualidade da MOS (GHOSH et al., 2019; CONCEIÇÃO et al., 2014).

Além disso, sistemas conservacionistas como o SPD, contribuem na redução da emissão de CO_2 do solo para a atmosfera (BESEN et al., 2018; BAYER; MIELNICZUK; MARTIN NETO, 2000). Já sistemas com revolvimento periódico do solo, favorecem as perdas de C (IAMAGUTI et al., 2015). O processo de emissão de CO_2 do solo está associado à diversos fatores, entre eles a respiração de raízes, atividade microbiana, decomposição dos resíduos vegetais e oxidação da MOS (LAL, 2009).

Diante do exposto, em função da grande diversidade de práticas de manejo adotadas em diferentes condições edafoclimáticas em nível de Brasil, se torna importante a caracterização não só da quantidade de C, mas sim da qualidade (labilidade) deste C que está sendo aportado ao solo em função da adoção de diferentes sistemas de manejo. Além disso, trabalhos que envolvem as diferentes técnicas de fracionamento de C, labilidade da MOS e IMC em solos cultivados na região do Ecótono Cerrado-Pantanal, em áreas com histórico conhecido de manejo são escassos na literatura.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar fisicamente a matéria orgânica do solo, e quantificar a emissão de carbono mineralizável do solo em diferentes sistemas de manejo conduzidos ao longo do tempo no município de Aquidauana, MS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar a densidade do solo dos diferentes sistemas de manejo.

Quantificar os teores de orgânico total e índice de estratificação do carbono em diferentes sistemas de manejo.

Quantificar os teores e estoques de carbono das diferentes frações físicas da matéria orgânica do solo (matéria orgânica particulada e matéria orgânica mineral).

Determinar os índices de manejo de carbono do solo.

Relacionar os padrões quantitativos da matéria orgânica lábil e matéria orgânica recalcitrante em função de indicadores de relação das diferentes frações físicas.

Quantificar a emissão diária e acúmulo total de carbono mineralizável do solo.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

Foram coletadas amostras de solo em parcelas experimentais implantadas com diferentes tipos de sistema de manejo, sendo que as parcelas vêm sendo conduzidas desde o ano de 2012, no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul (Figura 1).

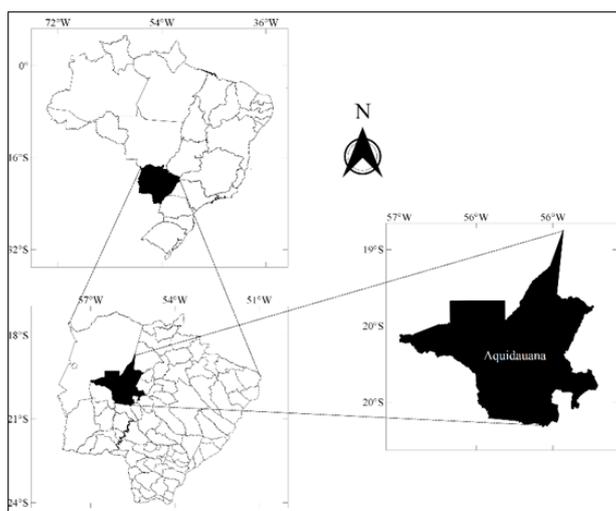


Figura 1. Localização do município de Aquidauana no Estado de Mato Grosso do Sul. (Fonte: QGIS, versão 2.18.22 Las Palmas).

A região localiza-se entre as coordenadas geográficas 20°27' de latitude S e 55°40' de longitude W, com altitude média de 174 metros, sendo inserida no Ecótono Cerrado-Pantanal, com clima classificado pelo sistema internacional de Köppen (PEEL et al., 2007), como tropical quente sub-úmido, com registros de precipitação média anual de 1.250 mm e temperatura média anual de 26°C. De acordo com Schiavo et al. (2010) baseando-se no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013), o solo da área de estudo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico, fisicamente profundo, moderadamente drenado e com textura franco-arenosa. A área experimental é de topografia plana a suavemente ondulada com declividade média de 0,03 m m⁻¹.

Cinco sistemas de manejo foram avaliados e uma área de referência adjacente (Mata Nativa – MN - Vegetação de Cerrado *Stricto sensu*) sem ação antrópica, perfazendo seis sistemas diferenciados analisados em delineamento inteiramente casualizado. Os cinco sistemas de manejo compreendem: solo exposto com revolvimento anual e nenhuma cultura instalada (SE), sistema plantio convencional com revolvimento anual (SPC), sistema plantio

direto (SPD), pastagem permanente (PP) e cana-de-açúcar (CA), sendo esses sistemas implantados no ano de 2012, ou seja, com histórico conhecido de seis anos (coleta realizada em 2018). Todas as áreas se encontram localizadas no campus da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Aquidauana (Figura 2).



Figura 2. Imagem área das parcelas experimentais instaladas na UEMS, Unidade Universitária de Aquidauana. Fonte: Google Earth.

Em período anterior a instalação dos sistemas de manejo, o solo onde foram instaladas as parcelas experimentais estava a 20 anos sendo cultivado com a sucessão de pastagens e culturas anuais. Durante esse período, os cultivos eram realizados em SPC, no qual antes da implantação das culturas anuais em alternância com as pastagens, era realizada uma operação de revolvimento do solo com gradagem aradora até a profundidade de 0,2 m, e duas operações com gradagens niveladoras até a profundidade de 0,1 m. Antes da instalação do experimento (setembro de 2012), foi realizada coleta de solos para caracterização química e granulométrica nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m. Os resultados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do Argissolo Vermelho distrófico da área experimental no momento anterior à implantação do experimento.

Camada (m)	Areia	Silte	Argila	pH	C	MO	P	Ca	Mg	K	Al	m	V
	-----g kg ⁻¹ -----				----%----		mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----			-----%-----		
0-0,2	815	124	61	5,69	0,73	1,26	47,23	2,40	0,54	0,39	0,00	0,00	54,01
0,2-0,4	785	138	77	5,67	0,57	0,98	38,97	2,41	0,37	0,31	0,00	0,00	54,53

Fonte: Nagel (2014). pH: Potencial hidrogeniônico. C: Carbono. MO: Matéria orgânica. P: Fósforo. Ca: Cálcio. Mg: Magnésio. K: Potássio. Al: Alumínio. m: Saturação por Alumínio. V: Saturação por bases.

Em decorrência dos valores de saturação por bases (V%) próximos a 60%, e de alumínio (m%) de 0,00%, não foi necessária à correção do solo com calcário e gesso. Em setembro de 2012, antes da instalação do experimento, o solo foi descompactado a partir da operação de escarificação até 0,30 m de profundidade. Imediatamente após a descompactação,

a área foi preparada com uma aração com arado de discos a 0,20 m de profundidade, e duas gradagens niveladoras a 0,10 m no sentido do declive (NAGEL, 2014).

No mês de setembro de 2012, após a caracterização química e física da área, as parcelas experimentais foram instaladas (Figura 3), contendo as cinco áreas manejadas: solo exposto (SE), sistema de preparo convencional (SPC), sistema plantio direto (SPD), pastagem permanente (PP) e cana-de-açúcar (CA), além da seleção de uma área de mata nativa de Cerrado adjacente as áreas manejadas.

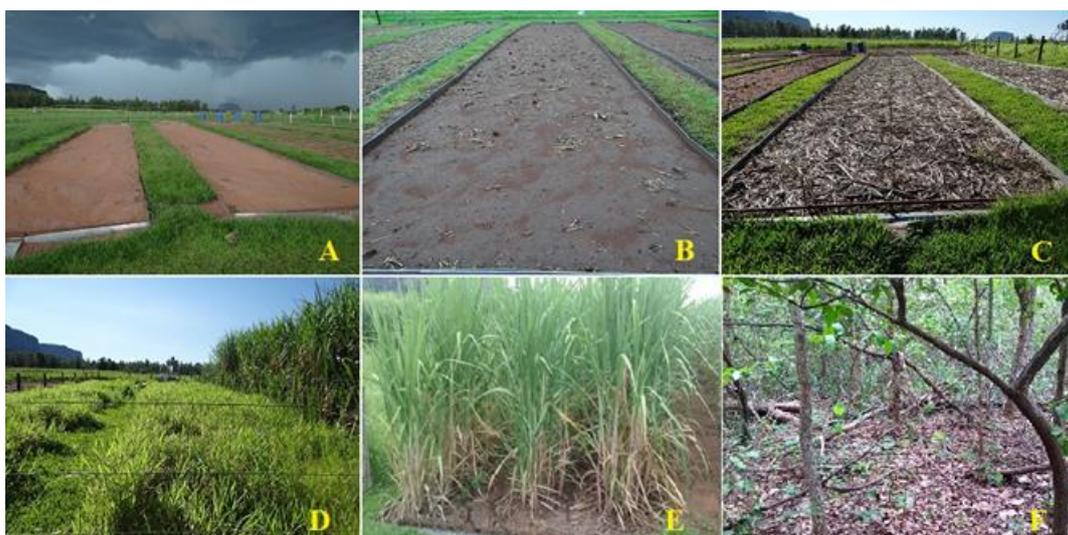


Figura 3. Diferentes sistemas de manejo instalados e área de mata nativa adjacente à área experimental. A: solo exposto (SE), B: sistema de preparo convencional (SPC), C: sistema plantio direto (SPD), D: pastagem permanente (PP), E: cana-de-açúcar (CA) e F: mata nativa (MN).

No início do experimento, no ano de 2012, o mesmo tinha o objetivo de avaliar a perda de solo e de água nos sistemas de manejo através da chuva natural (NAGEL, 2014). Sendo assim, foram instaladas duas parcelas experimentais por sistema e manejo, totalizando então, 10 parcelas. As parcelas possuem dimensões de 22,15 m de comprimento a favor do declive e 3,50 m de largura, delimitada lateralmente e na extremidade superior por chapas galvanizadas cravadas a 0,10 m no solo e, na extremidade inferior, por um sistema coletor de enxurrada, conectado por um cano de PVC a um primeiro tanque, com capacidade de 500 L, de sedimentação, situado seis metros abaixo da parcela. Este, por sua vez, estava ligado, por meio de um divisor de enxurrada tipo “Geib” com nove janelas, a um segundo tanque, também com capacidade de 500 L.

A partir da instalação do experimento, os sistemas de manejo são manejados mais especificamente de acordo com o apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Histórico e descrição dos diferentes sistemas de manejo instalados.

SM	Histórico de manejo
SE	Manejado com duas arações utilizando um arado de discos até a profundidade de 0,2 m, e duas gradagens niveladoras a 0,1 m de profundidade no sentido do declive (Figura 4), sem nenhuma espécie vegetal cultivada.
SPC	Manejado com duas arações utilizando um arado de discos até a profundidade de 0,2 m e duas gradagens niveladoras a 0,1 m de profundidade no sentido do declive (Figura 4), com os cultivos alternados de soja, milho, nabo, crotalária e pousio nas safras de verão e inverno.
SPD	Manejado sem revolvimento do solo, com os cultivos alternados de soja, milho, nabo, crotalária, milho e pousio nas safras de verão e inverno.
PP	Manejado continuamente com a espécie <i>Brachiaria ruziziensis</i> sem pastejo de bovinos de corte ou leite.
CA	Manejado continuamente com a variedade RB 855536 com cortes anuais sem a utilização da prática da queima na pré-colheita.
MN*	Área adjacente às parcelas experimentais com vegetação de Mata Nativa de Cerrado <i>Stricto sensu</i> . Utilizada como referencial da condição original do solo.

SM: sistemas de manejo; SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN*: mata nativa (área adjacente às parcelas experimentais com distância em linha reta de 400 m).



Figura 4. Gradagem aradora no sentido do declive até a profundidade de 0,2 m.

3.2 Realização das coletas de solo

Para as coletas de solo, cada parcela experimental (duas por sistema de manejo) foi dividida em duas, na posição do sentido do declive (Figura 5). Sendo assim, foram coletadas amostras de solo em quatro repetições por sistema de manejo.



Figura 5. Demonstrativo da divisão das duas parcelas experimentais por tratamento, contemplando assim quatro repetições por sistemas de manejo.

As amostras foram coletadas em quatro repetições (cada parcela instalada representou duas repetições), sendo que, cada amostra composta foi representada por cinco amostras simples nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m (Figura 6). Também foram coletadas amostras indeformadas com auxílio de anel volumétrico com quatro repetições em todas as parcelas/repetições e camadas (Figura 7).



Figura 6. Coleta das amostras deformadas de solo nas diferentes parcelas experimentais e mata nativa.



Figura 7. Coleta das amostras deformadas de solo com auxílio do anel volumétrico nas diferentes parcelas experimentais.

3.3 Processamento de amostras e análises realizadas

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Ensino de Química da UEMS de Mundo Novo. A análise de densidade do solo (D_s) foi realizada nas amostras indeformadas de solo segundo Classen (1997) (Figura 8).



Figura 8. Amostras em estufa para posteriormente serem realizadas as pesagens para análises de densidade do solo.

As amostras de solo deformadas foram destorroadas e posteriormente peneiradas em peneira de malha de 2 mm, obtendo-se assim, a Terra Fina Seca ao Ar (Figura 9), para então se realizar as análises em laboratório.



Figura 9. Destorroamento e peneiramento das amostras deformadas de solo.

O carbono orgânico total (COT) foi determinado pela oxidação via úmida da matéria orgânica (YEOMANS; BREMNER, 1988) (Figuras 10 e 11). A partir dos resultados obtidos, foi calculado o índice de estratificação (IE) do COT (FRANZLUEBBERS, 2002) através da relação entre os teores de COT das camadas de 0-0,05 e 0,10-0,20 m.



Figura 10. Preparo das amostras para a determinação do carbono orgânico total.



Figura 11. Processo de titulação do carbono orgânico total.

O fracionamento físico-granulométrico da MOS foi realizado segundo o método descrito por Cambardella e Elliott (1992). Em 20 g de solo (TFSA) foram adicionados 60 ml de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}), sendo as amostras agitadas por 16 horas em agitador horizontal (Figura 12). Após a homogeneização foi realizado o peneiramento úmido, utilizando peneira de $53 \mu\text{m}$ (Figura 13A). O material retido na peneira de $53 \mu\text{m}$ (Figura 13B) consiste na matéria orgânica particulada (MOP) associada à fração areia, e o que passou pela peneira de $53 \mu\text{m}$ a matéria orgânica mineral (MOM) associada às frações silte e argila. Em seguida, a MOP retida na peneira de $53 \mu\text{m}$ foi seca em estufa a 50°C , para posteriormente ser moído em gral de porcelana (Figura 13C) e analisado quanto ao teor de C da matéria orgânica particulada (C-MOP). O C-MOM foi obtido a partir da diferença entre COT e C-MOP.



Figura 12. Amostras sendo agitadas em agitador orbital no laboratório de Química da UEMS, Unidade Universitária de Mundo Novo.

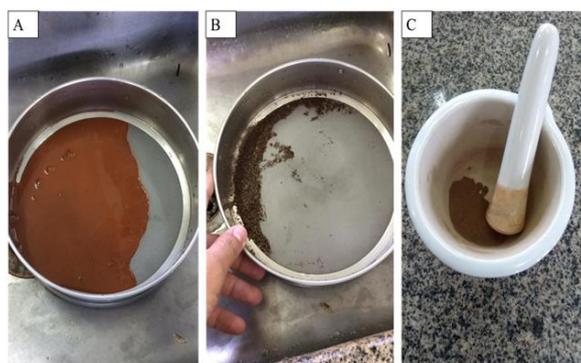


Figura 13. A: Realização de peneiramento úmido. B: Material retido na peneira (MOP). C MOP retirada da peneira, seco e em processo de maceração.

Os índices para avaliação da qualidade da fração orgânica do solo: índice de estoque de carbono (IEC), labilidade da MOS (L), índice de labilidade (IL) e o índice de manejo de carbono (IMC) foram calculados da seguinte maneira: O IEC obtido pela relação entre o conteúdo de COT do tratamento e o da referência. A L da MOS de cada tratamento obtida pela razão entre os teores de C-MOP e C-MOM. O IL obtido pela relação entre a labilidade da MOS do tratamento e o da referência. O IMC estimado pelo produto entre o IL e o IEC x 100 (BLAIR et al., 1995). Além disso foram calculados os estoques de carbono da MOP e MOM segundo método da massa equivalente (ELLERT; BETTANY, 1995; SISTI et al., 2004).

A análise de C-CO₂ liberado foi efetuada seguindo metodologia de Mendonça e Matos (2005), na qual foram acondicionados 50 g de solo, um frasco com 30 ml de solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ para captar o C-CO₂ emitido, e outro frasco com 30 ml de H₂O, de forma a manter a umidade constante, no interior de um pote de plástico com capacidade de 3 L, sendo o mesmo hermeticamente fechado. A cada dia de avaliação, do frasco de solução de NaOH foram retirados 10 ml, sendo adicionado 10 ml da solução de BaCl₂ 0,05 mol L⁻¹ e 4 gotas de fenolftaleína 1%, com posterior titulação com HCl 0,25 mol L⁻¹. Após a retirada do frasco de 30 mL da solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ de dentro do recipiente, um novo frasco

com mais 30 mL era inserido para a próxima avaliação, tendo-se o cuidado de deixar o pote aberto por 15 minutos para a troca de ar, antes da próxima incubação. As titulações/avaliações foram realizadas em intervalos de 24 h nos primeiros 7 dias, de 48 h entre o 8º e 17º dia, e de 96 h entre o 18º e 33º dia, conforme efetuado por Loss et al. (2013).

Os resultados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado, sendo submetidos à análise de variância com aplicação do teste F, e os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade do solo

Para as camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, os valores de Ds dos sistemas SE, SPC, SPD, CA e MN foram semelhantes entre si, sendo que somente a área de PP apresentou menor Ds, (1,19 Mg m⁻³), diferindo-se somente das áreas de SE, SPD e CA na camada de 0,00-0,05 m, e da área de SE e SPD na camada de 0,05-0,10 m. Esse fato pode ser explicado por conta de não haver pisoteio animal, uma vez que a parcela de cultivo de PP apresenta-se sem pastejo durante todo período experimental. Esse resultado corrobora com os trabalhos de Antunes et al. (2018) e Carvalho et al (2016), pois em área de pastagem com presença de animais, constataram um aumento na Ds em todas as camadas estudadas. Já Coutinho et al. (2017) e Cruz et al. (2018), obtiveram valores semelhantes ao presente trabalho, onde a área de pastagem apresentou valores de Ds semelhantes a mata nativa.

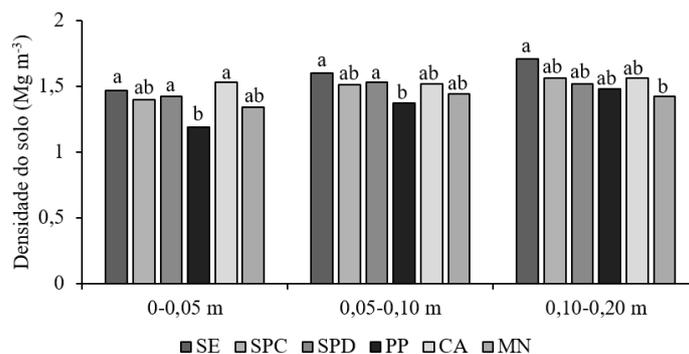


Figura 14. Densidade do solo (Ds) em diferentes sistemas de manejo no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

Para a camada de 0,10-0,20 m, a MN apresentou menor valor de Ds, 1,42 Mg m⁻³, porém diferindo apenas da área de SE, 1,71 Mg m⁻³ (Figura 14). Isso ocorre devido à ausência de qualquer uso ou manejo do solo nessa área, por conta da vegetação existente no local, dos

teores de carbono orgânico total (COT) e da intensa atividade biológica na área pela fauna e raízes (STENBEISS et al., 2009; ROSSET et al. 2014). Resultados semelhantes foram obtidos por Melo et al. (2016), e Burgreuer et al. (2019), nos quais, áreas de mata nativa apresentaram menores valores de Ds em relação a sistemas cultivados com plantio direto e pastagem permanente.

Além disso, as áreas de SPD e SPC não diferiram entre si em nenhuma das camadas avaliadas (Figura 14). Isso provavelmente se deve ao fato do SPD estar implantado somente há seis anos na área, estando na fase de rearranjo de partículas (STRECK et al., 2004; SOUZA et al., 2005) e fase de acúmulo de MOS (GUARESCHI et al., 2012; ROSSET et al., 2014), com pouca alteração na estrutura do solo, visto que as modificações nos atributos físicos do ambiente edáfico em áreas de SPD levam mais tempo para serem efetivas (ANGHINONI, 2007). Rosset et al. (2014) evidenciaram alterações na Ds em áreas de cultivo sob SPD apenas após 16 anos de cultivo.

Em nenhum dos sistemas e camadas de solos estudados, os valores de Ds ultrapassaram o valor de limite crítico para o desenvolvimento de plantas em solos de textura arenosa e média, estipulado em $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$, que, a partir deste valor, as plantas passam a ter dificuldade de penetrarem suas raízes (Reinert et al., 2008; Sales et al., 2016).

4.2 Carbono orgânico total e índice de estratificação

Na camada de 0,00-0,05 m, observa-se maiores teores de COT nas áreas de PP e SPD, com teores $37,37$ e $36,38 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente, sendo semelhantes entre si (Figura 15A). Essa alta concentração de COT nestas áreas é devida a maior deposição de palhada no solo, uma vez que não há pastejo na área de PP e nem revolvimento do solo na área de SPD, somado a rotação de culturas nesta mesma área. Teores de COT elevados e semelhantes em áreas de SPD e PP também foram encontrados por Gazolla et al. (2015), na camada superficial do solo em estudo no bioma Cerrado no estado de Goiás. No presente trabalho, os teores de COT obtidos no SPD foram superiores aos encontrados por Nanzer et al. (2019) em um Neossolo Quartzarênico Órtico, do município de Cassilândia Mato Grosso do Sul.

Os menores teores de COT em todas as camadas estudadas foram observados nas áreas de SE e SPC (Figuras 15A, B e C), evidenciando que sistemas que não preservam cobertura vegetal, somado ao revolvimento periódico do solo são prejudiciais ao ambiente edáfico, reduzindo o conteúdo de C, diferentemente do que ocorre em sistemas com cobertura vegetal sem revolvimento, como o SPD.

Em seis anos de cultivo, a área de SPC acumulou apenas 31, 57 e 55% do COT apresentado pela área de SPD nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente (Figura 15A, B, C). Esse fato é devido maior deposição de palhada no SPD (BROWN et al., 2018), e do não revolvimento periódico do solo, o que favorece a quebra dos agregados, expondo as frações da MOS ao ataque microbiano, causando a rápida decomposição (LISBOA et al., 2012). Outro fator que diminui o teor de COT do SPC é a falta de cobertura do mesmo, assim, o solo perde C por efeito da radiação direta (GONÇALVES et al., 2019). Resultados semelhantes foram encontrados por Siqueira Neto et al. (2009), Pereira et al. (2011), Loss et al. (2011), Brown et al. (2018) e Assunção et al. (2019) que verificaram teores superiores de COT no SPD em relação ao SPC.

Não houve diferenças entre os teores de COT nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,1 m das áreas de CA e MN, com 27,26 e 27,55 g kg⁻¹ e 25,27 e 22,80 g kg⁻¹, respectivamente (Figuras 15A e B). Esse fato é devido a não haver a queima da cana-de-açúcar na pré-colheita anual da cultura, o que favorece elevada deposição de material vegetal, e consequente acúmulo de COT. Resultados semelhantes foram encontrados por Kunde et al. (2016). Diferentes resultados foram constatados por diversos autores, em diversos tipos de solo, nos quais a área de referência, sempre propiciou maior teor de COT em relação a CA (BARROS et al., 2013; VASCONCELOS et al., 2014; ROSSET et al., 2014; FREITAS et al., 2018).

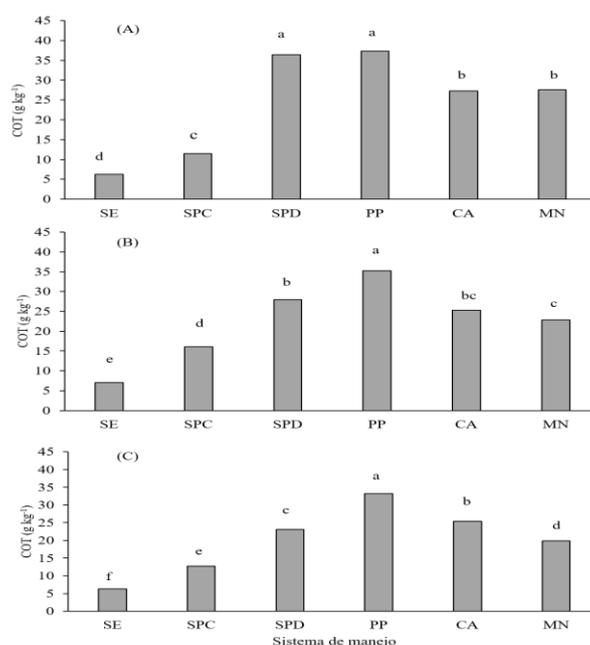


Figura 15. Carbono orgânico total (COT) dos diferentes tipos de manejo e camadas avaliadas no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul. A: 0-0,05 m, B: 0,05-0,10 m, C: 0,10-0,20 m. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

De maneira geral o teor de COT diminuiu com a profundidade, indicando que a contribuição da entrada de C na camada mais superficial é maior em relação às demais camadas. Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores em diferentes tipos de solo, condições climáticas e sistemas de manejo (BEZERRA et al., 2013; ROSSET et al., 2014; ROSSET et al., 2016; ASSUNÇÃO et al., 2019; NANZER et al., 2019).

As áreas de SPD e MN apresentaram os maiores valores do IE, 1,57 e 1,39, respectivamente, sendo superiores as demais áreas (Figura 16). O maior IE no SPD (Figura 16) pode ser explicado por haver diversidade de culturas no esquema rotacional, e não ser realizado o revolvimento do solo, assim, aumentando a quantidade de COT na camada superficial do solo (Figura 15), como também relatado no trabalho de Boddey et al. (2010). Já para a MN, IE elevados são devidos ao acúmulo de serapilheira na superfície do solo e por não haver nenhum tipo de manejo do solo, somado a heterogeneidade de espécies vegetais. Resultados semelhantes foram encontrados por Salton et al. (2014), onde em área de Cerrado nativo, os autores encontraram valores de IE de até 1,70.

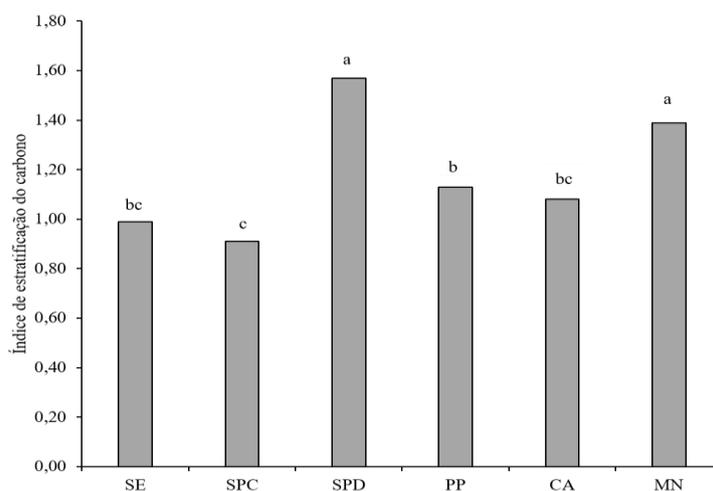


Figura 16. Índice de estratificação (IE) do carbono orgânico total das diferentes áreas estudadas no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

Verificou-se menor IE na área de SPC quando comparado com SPD, com valores de 0,91 e 1,57 respectivamente. O menor IE no SPC se deve ao revolvimento periódico, que altera a estrutura do solo, rompendo os agregados havendo exposição do C para o ataque microbiano e, além disso, invertendo as camadas e levando o C da camada superficial para as camadas subsuperficiais. Esses resultados também corroboram com os de Tormena et al. (2004) no qual a área de SPD apresentou valores superiores de IE quando comparado ao SPC.

4.3. Frações físicas e índice de manejo de carbono.

Os teores de carbono das frações físicas da MOS, além dos índices de manejo de carbono estão apresentados na Tabela 3. Para todas as camadas estudadas, as áreas de PP, CA e MN apresentaram os maiores teores de C-MOP, sendo superiores a $4,00 \text{ g kg}^{-1}$, não diferindo entre si. Estes maiores teores de C-MOP são atribuídos ao maior acúmulo de COT nessas áreas (Figura 15), devido ao maior acúmulo de palhada na superfície do solo. Gazolla et al. (2015) verificaram em área de Cerrado também no estado de Mato Grosso do Sul, teores de C-MOP em área de MN superiores a área de PP. Já Carmo et al. (2012) em área de Cerrado no Distrito Federal observaram teores de C-MOP em área de PP com a espécie *Panicum maximum*, inferiores quando comparado a uma área com agricultura (sistema de consórcio milho + *P. maximum*).

Verificou-se em área de SPD teores de C-MOP superiores ao SPC em todas as camadas avaliadas, com o SPC apresentando teores de C-MOP equivalentes ao SPD na ordem de 31, 22 e 28% para as camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente. Isso provavelmente ocorre por conta da maior quantidade de resíduos vegetais presentes no SPD (MELO et al., 2016) e por não haver revolvimento do solo, contribuindo para a preservação da MOS, pois o SPC, com gradagens periódicas aumenta o potencial de perda de MOS (ZHANG et al., 2019), em especial as frações mais lábeis como a MOP (BONGIORNO et al., 2019). Esses resultados corroboram com os apresentados por Melo et al. (2016), em áreas de SPD e SPC com hortaliças no Cerrado Goiano.

Os sistemas de manejo que apresentaram maiores teores de C-MOM foram a PP e SPD na camada de 0-0,05 m, com $32,77$ e $33,08 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente (Tabela 3). Estes maiores teores são devido principalmente aos maiores teores de COT destas áreas (Figura 15) e, além disso, ao favorecimento do processo de humificação da MOS nestas áreas, devido ao não revolvimento, no qual a MOP recém depositada sobre o solo através da ação dos organismos sofre processo de decomposição e, estabilização, o que contribui para aumento gradual dos teores de MOM (BATISTA et al., 2013; ROSSI et al., 2012). Diferentemente do constatado por Melo et al. (2016), onde os autores verificaram maior teor de C-MOM em área de Cerrado nativo em relação as áreas manejadas.

Nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, a área de PP apresentou maiores teores de C-MOM, com $30,60$ e $28,75 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente (Tabela 3). Isso pode ser explicado devido ao grande volume de raízes das gramíneas nas camadas mais profundas do solo, o que demonstra a contribuição no acúmulo de C através do sistema radicular (SALTON et al., 2008).

Da mesma forma como para C-MOP, SPC apresentou menores teores de C-MOM em relação ao SPD em todas as camadas. Para esta fração de C mais recalcitrante no solo, o SPC acumulou 32, 61 e 60% em relação ao SPD nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente. Esses resultados comparativos evidenciam que o C-MOP é mais sensível as alterações nos sistemas de manejo em relação ao C-MOM, pois a perda desta fração lábil foi mais acentuada em relação ao C-MOM, após seis anos de cultivo. Melo et al. (2016) e Lima et al. (2016) também verificaram resultados semelhantes, com o SPD sempre contendo maiores teores de C-MOM em relação ao SPC.

Tabela 3. Teores de carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) e matéria orgânica mineral (C-MOM) e valores do índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC) nos diferentes sistemas de manejo no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul.

Sistemas de manejo	C-MOP	C-MOM	IEC	L	IL	IMC
-----g kg ⁻¹ -----						
0-0,05 m						
SE	0,73 c	5,57 d	0,22 d	0,12 ab	0,62 a	14,86 c
SPC	1,03 c	10,48 c	0,42 c	0,10 b	0,52 a	20,82 c
SPD	3,30 b	33,08 a	1,32 a	0,10 b	0,48 a	63,68 b
PP	4,59 a	32,77 a	1,36 a	0,14 ab	0,68 a	91,88 a
CA	4,54 a	22,72 b	0,99 b	0,20 ab	0,97 a	95,65 a
MN	4,72 a	22,83 b	1,00 b	0,21 a	1,00 a	100,00 a
CV (%)	11,45	6,10	7,92	30,19	32,53	12,63
0,05-0,10 m						
SE	0,78 c	6,21 e	0,31 d	0,12 b	0,48 b	15,09 c
SPC	0,68 c	15,37 d	0,70 c	0,04 c	0,17 c	12,23 c
SPD	3,04 b	24,94 b	1,23 b	0,12 b	0,47 b	58,23 b
PP	4,62 a	30,60 a	1,55 a	0,15 b	0,59 b	91,18 a
CA	4,46 a	20,81 bc	1,11 b	0,22 a	0,84 a	92,33 a
MN	4,66 a	18,14 cd	1,00 b	0,26 a	1,00 a	100,00 a
CV (%)	9,13	9,53	10,88	16,32	17,28	11,72
0,10-0,20 m						
SE	0,61 c	5,77 e	0,32 e	0,10 cd	0,33 cd	11,21 c
SPC	0,94 c	11,85 d	0,64 d	0,08 d	0,26 d	16,89 c
SPD	3,31 b	19,82 b	1,16 bc	0,17 bc	0,55 bc	63,92 b
PP	4,44 a	28,75 a	1,67 a	0,16 bcd	0,51 bcd	84,34 ab
CA	4,56 a	20,79 b	1,28 b	0,22 b	0,72 ab	91,93 a
MN	4,66 a	15,20 c	1,00 c	0,31 a	1,00 a	100,00 a
CV (%)	12,09	8,34	7,92	21,06	22,15	15,13

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. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

Nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m, as áreas de CA e MN foram semelhantes em relação ao teor de C-MOM (Tabela 3). Esta semelhança se deve ao acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, na CA por não haver revolvimento e na MN por não ter ação antrópica, contribuindo para a estabilização da fração mais lábil para a fração mais recalcitrante da MOS. Kunde et al. (2016) evidenciaram teores de C-MOM em área de mata nativa superiores a três diferentes cultivares de cana-de-açúcar.

As áreas de PP, SPD e CA tiveram valores de IEC superiores a 1,00 em todas as camadas avaliadas, com exceção para a área de CA na camada de 0-0,05 m (Tabela 3). Valores de IEC acima da unidade representam estocagem de C superior a área de MN. Além disso, observa-se que as áreas de PP e SPD na camada de 0-0,05 m apresentam valores semelhantes entre si, porém superiores a MN, com 1,36 e 1,32 respectivamente. Nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m a área de PP também apresentou maiores valores de IEC em relação as demais áreas estudadas, com valores de 1,55 e 1,67 respectivamente. Diferentemente do observado nas áreas de SE e SPC com valores de no máximo 0,70 (Tabela 3).

Em todas as camadas a área de CA apresentou IEC semelhante ou superior a MN (Tabela 3). Esse resultado indica que o sistema está sendo eficiente no acúmulo de C no solo, estocando quantidades até mesmo superiores a área de referência. Já o SPD apresentou maior IEC quando comparado com SPC em todas as camadas avaliadas (Tabela 3). Resultados semelhantes foram encontrados por Loss et al. (2011) em Argissolo Vermelho-Amarelo no bioma Mata Atlântica e por Conceição et al. (2014) em Argissolo Vermelho-Distrófico no Ecótono Pampa-Mata Atlântica.

Para a L da MOS, na camada superficial, houve diferenças somente entre a MN, SPC e SPD, com valores de 0,21, 0,10 e 0,10 respectivamente, sendo que nenhum dos sistemas de manejo apresentou valores superiores a MN. Para a camada de 0,05-0,10 m, a CA apresentou os maiores valores de L, sendo semelhante a área de referência. Já na camada de 0,10-0,20 m, na MN foram verificados os maiores valores, chegando a 0,31 (Tabela 3). Kunde et al. (2016) constataram valores de L em áreas com cultivo de CA inferiores a área de MN. A L é um ótimo indicador de QS, representando a relação entre MOP e MOM (BENBI et al., 2015), demonstrando a relação entre as frações lábeis e recalcitrantes da MOS, sendo que esta relação é essencial para a manutenção da QS ao longo dos anos de cultivo (MAJUMDER; KUZUYAKOV, 2010).

Na camada de 0-0,05 m todos os sistemas manejados demonstraram valores de IL semelhantes a MN. Nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, foi observado valor de IL na CA superior aos demais sistemas de manejo, porém semelhante a MN (Tabela 3).

As áreas de PP e CA apresentaram maiores IMC entre as áreas manejadas, sendo semelhantes a área de MN em todas as camadas avaliadas, chegando a 95,65 na área de CA na camada de 0-0,05 m. Isso provavelmente ocorre por serem plantas do tipo C4, que contribuem para o acúmulo de C no solo devido ao maior tempo de decomposição (ROSSI et al., 2011), além das demais características apresentadas de não haver revolvimento, pastejo e queima. Em área de pastagem com braquiária no estado de Mato Grosso do Sul, Schiavo et al. (2011) constataram IMC semelhante a mata nativa.

Devido aos maiores teores de COT (Figura 15), C-MOP e C-MOM, além do equilíbrio entre estas frações (Tabela 3), o SPD em todas as camadas avaliadas apresentou IMC superior a área com SPC, chegando a valores de 63,92 na camada de 0,1-0,2 m. O mesmo fato foi evidenciado por Loss et al. (2011), com maior IMC em área cultivada com SPD.

4.4. Representatividade das frações físicas

Em todas as camadas, observa-se predominância de C-MOM em relação ao C-MOP (Figura 18). No entanto, as maiores porcentagens de C-MOP foram observadas nas áreas de CA e MN, com 16,69 e 17,17% para a camada de 0-0,05 m (Figura 18a), 17,70 e 20,54% na camada de 0,05-0,10 m (Figura 18b) e 18,10 e 23,49% na camada de 0,10-0,20 m (Figura 18c). Este resultado possivelmente ocorre por conta de não se ter queima em pré-colheita da cana, sendo também uma espécie do tipo C4, que o material vegetal possui alta relação C/N sendo depositado por anos influencia no C particulado (MITTON et al., 2017). Assim o seu tempo de decomposição é mais lento, logo a MOP leva mais tempo para se estabilizar e passar para MOM.

Cabe destacar também que a menor representatividade de C-MOP em relação a C-MOM em todas as áreas estudadas (Figura 18), se deve ao clima da região, Tropical quente sub-úmido (PELL et al., 2007), com temperaturas médias elevadas e duas estações bem definidas, o que contribui para potencializar a menor permanência de C-MOP ao longo do tempo.

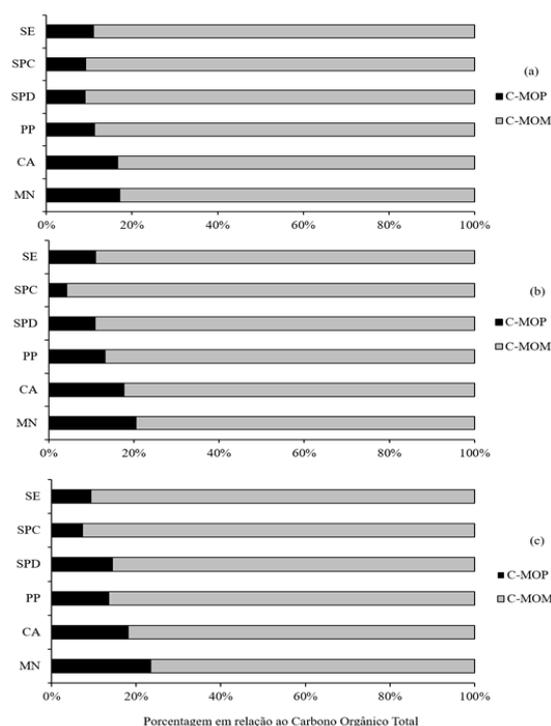


Figura 18. Porcentagem de carbono orgânico particulado (C-MOP) e carbono associado aos minerais do solo (C-MOM) em relação ao carbono orgânico total nas camadas de 0-0,05 m (a), 0,05-0,1 m (b) e 0,1-0,2 m (c). SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

4.5. Estoque e variação do estoque de MOP e MOM

Quanto ao estoque de matéria orgânica particulada (EstMOP), as áreas de PP, CA e MN, apresentaram os maiores valores em todas as camadas, sendo superiores a 5 Mg ha^{-1} (Figura 19). Isso ocorre por conta da maior quantidade de resíduos depositados na superfície do solo nestes sistemas (ROSSI et al, 2012), e o não revolvimento, não havendo assim nenhum tipo de perturbação (CRUZ et al., 2003; CARMO et al., 2012; SIQUEIRA NETO et al., 2012).

Já as áreas de SE e SPC tiveram menor EstMOP, com valores de $0,99$ e $1,39 \text{ Mg ha}^{-1}$ respectivamente para a camada de 0-0,05 m, $1,14$ e $0,99 \text{ Mg ha}^{-1}$ para a camada de 0,05-0,10 m e $0,87$ e $1,34 \text{ Mg ha}^{-1}$ na camada de 0,10-0,20 m (Figura 19). Estes menores valores em relação aos sistemas conservacionistas se devem pelos menores teores de COT (Figura 15) e C-MOP e C-MOM (Tabela 3), somado ao revolvimento contínuo do solo, que potencializa a perda de MOS (ZHANG et al., 2019). Nanzer et al. 2019 encontraram resultados diferentes para o EstMOP, onde a PP com 30 de implantação apresentou valores semelhantes ao SPC. Já Schiavo et al. (2011) encontraram resultados semelhantes em Latossolo Vermelho no Cerrado Sul-Mato-Grossense, que áreas com braquiária apresentaram EstMOP semelhante a MN.

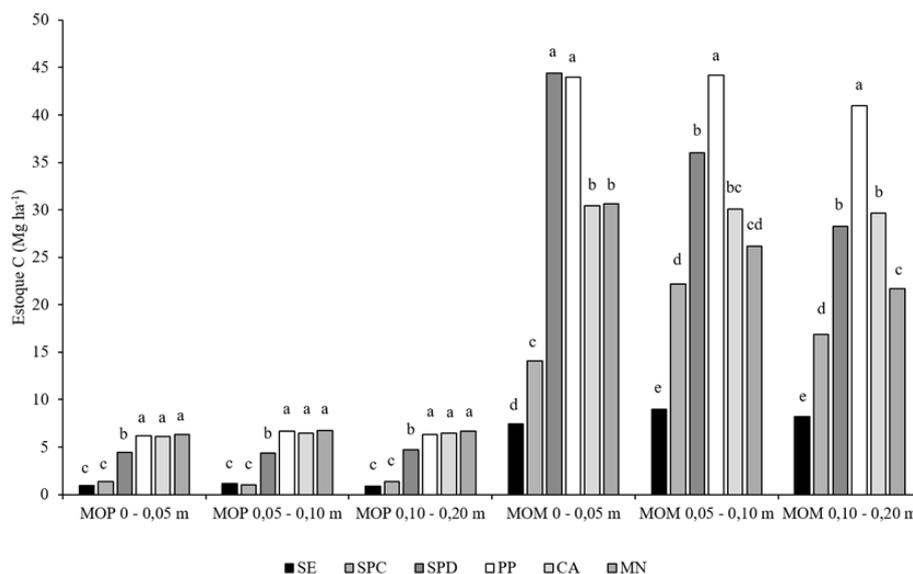


Figura 19. Estoque de carbono da matéria orgânica particulada (EstMOP) e matéria orgânica mineral (EstMOM) do solo em diferentes sistemas de manejo no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

As áreas de SPD e PP apresentaram maiores EstMOM na camada de 0-0,05 m, com respectivamente 44,37 e 43,96 Mg ha⁻¹. Já para as camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m a área de PP obteve maiores valores de EstMOM (Figura 19), como também relatado por Barreto et al., 2008, Schiavo et al. (2011) e Nanzer et al. (2019). Resultados estes, que demonstram a eficiência das pastagens em manter ou aumentar a QS quando bem manejadas, sendo que a pastagem quando utilizada em áreas degradadas de lavouras pode contribuir para melhorar as propriedades edáficas (Nanzer et al., 2019)

Da mesma forma como para os teores de C-MOM (Tabela 3), as áreas de MN e CA foram semelhantes na estocagem de MOM na camada de 0-0,05 m, porém sendo inferiores as áreas de PP e SPD. Estes maiores valores de EstMOM para as áreas de PP, SPD, MN e CA se deve a proteção física da MOM pelos microagregados, uma vez que nestes sistemas não há a quebra dos agregados na prática de revolvimento do solo (MELO et al. 2016; NANZER et al. 2019), sendo isto comprovado ao observar que o SE e SPC apresentaram os menores estoques de MOM em todas as camadas avaliadas (Figura 19).

Para Δ EstMOP, todas as áreas manejadas variaram negativamente, com o SPD, PP e CA apresentando valores mais próximos a MN em todas as camadas avaliadas e também na seção total de 0-0,2 m. Ao se comparar os sistemas não conservacionistas, ou seja, aqueles que utilizam o revolvimento do solo (SE e SPC) com a MN, percebe-se que houve variação

negativa maior, especialmente nas duas camadas mais superficiais que são mais suscetíveis ao revolvimento do solo, indicando que estes sistemas contribuem para a perda de matéria orgânica e consequente não estocagem de C no solo, causada pela degradação rápida da MOP.

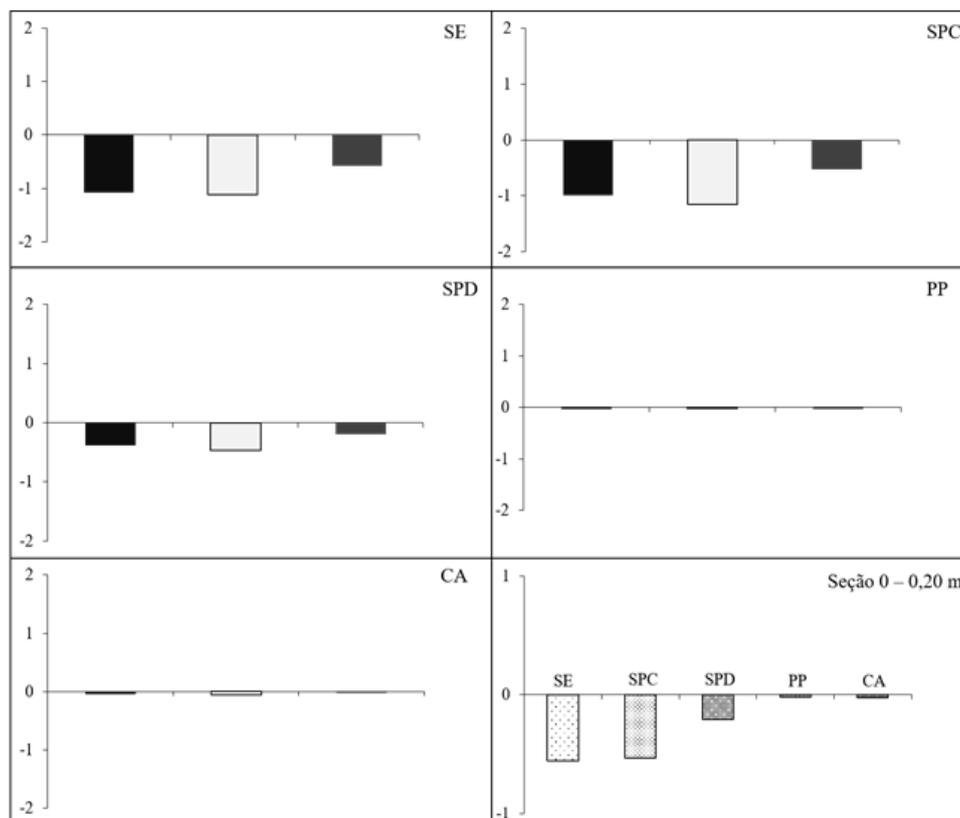


Figura 20. Variação do estoque de C-MOP (ΔEstMOP) nos diferentes sistemas de manejo nas camadas de 0-0,05 m (■), 0,05-0,10 m (□), 0,10-0,20 m (■) do município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

Verificou-se que dentre todos os sistemas manejados, as áreas de PP, SPD e CA apresentaram ΔEstMOM positiva em relação a MN em todas as camadas e na seção de 0-0,2 m, sendo a PP com variação mais positiva, o que indica que o sistema está estocando maior quantidade de MOM quando comparado a MN (Figura 21). Estes valores são atribuídos ao alto aporte de resíduos na superfície do solo e ao não revolvimento do solo, diferentemente do que ocorreu no SE e SPC, que apresentaram variação negativa em todas as camadas avaliadas, sendo decrescente com o aumento da profundidade, com a área de SE com variação negativa mais acentuada.

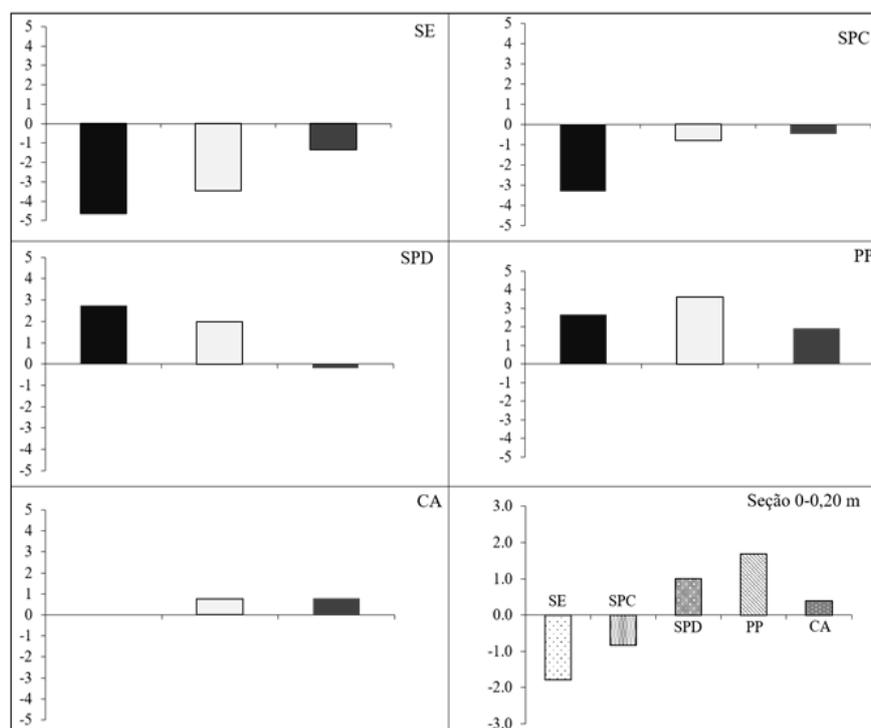


Figura 21. Variação do estoque de C-MOM (ΔEstMOM) nos diferentes sistemas de manejo nas profundidades de 0-0,05 m (■), 0,05-0,10 m (□), 0,10-0,20 m (■) do Município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

4.6. Carbono mineralizável e acúmulo de CO_2 do solo.

O solo proveniente das áreas de MN e CA apresentam no terceiro dia maior emissão de C-CO_2 (Figura 22), sendo este resultado relacionado aos maiores teores de MOP (Tabela 3) no solo destas áreas, estando prontamente disponível ao ataque microbiano por ser de maior labilidade. Este fenômeno é conhecido como “*priming*”, onde o estímulo dos microrganismos com a entrada de material vegetal fácil de ser decomposto acelera a decomposição da MOS (CHAO et al., 2019).

A partir do sexto dia de incubação do solo, verifica-se drástica diminuição nos valores máximos dos picos de emissão do C-CO_2 . Essa diminuição da emissão ocorre devido a morte de certa quantidade de microrganismos, favorecendo a redução das emissões posteriores. Entretanto, de modo geral, os picos posteriores que ocorrem se devem ao fato dos microrganismos mortos servirem de alimento para os remanescentes (GONÇALVES et al., 2002; LOSS et al., 2013). Este padrão também foi observado por Loss et al. (2013) em diferentes sistemas de manejo no cerrado Goiano.

De maneira geral, observa-se que a área de SPC apresentou altos picos de emissão de C-CO_2 mesmo tendo teores de COT (Figura 15) e MOP (Tabela 3) inferiores as áreas com

sistemas sem revolvimento do solo e também da área de MN. Isso ocorre devido ao fato que logo após a incorporação dos resíduos vegetais após a colheita, na área de SPC foi realizada a coleta de solos, sendo que o revolvimento contribui para a quebra dos agregados e exposição da MOS, o que favorece a decomposição da mesma pelos microrganismos. Bandyopadhyay e Lal (2014) encontraram resultados diferentes, onde a mata nativa em todos os dias avaliados apresentou maior emissão que o SPC.

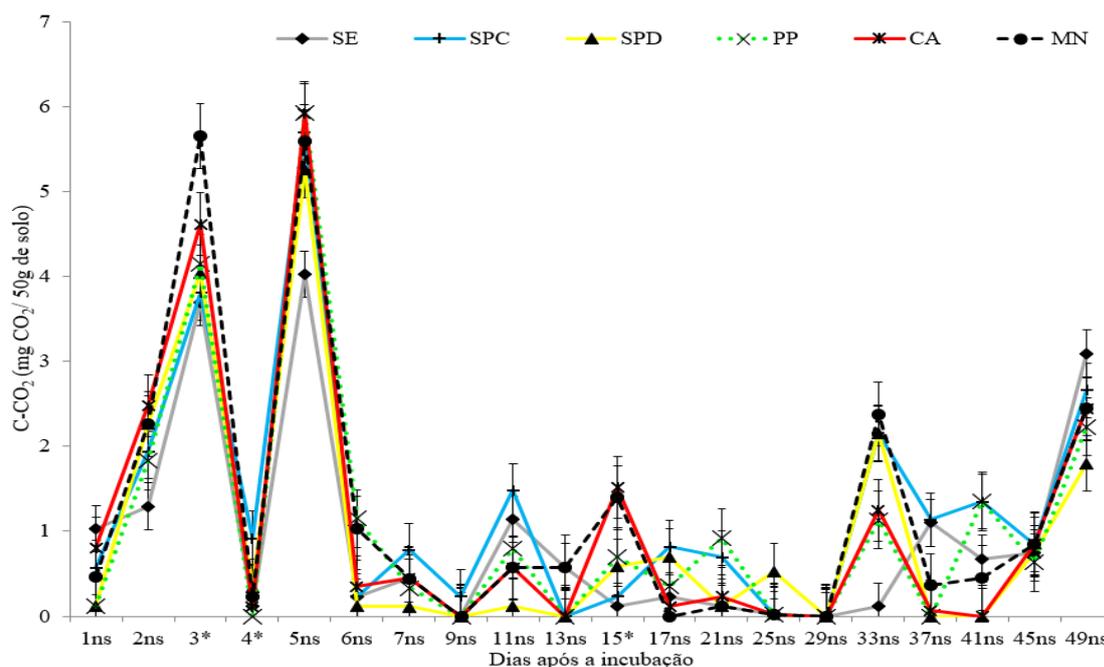


Figura 22. Evolução diária de C-CO₂ nas amostras de solo na camada de 0-0,05 m, incubados até o 49º dia de avaliação em diferentes sistemas de manejo no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul. * = significativo pelo teste F a 5%. ns = Não significativo pelo teste F a 5%. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

Observa-se que a área com SPC apresentou o maior acúmulo da emissão de C-CO₂, com 25,56 mg CO₂/50g de solo, sendo superiores inclusive a MN com 24,84 mg CO₂/50g (Figura 23). Esse fato se deve ao revolvimento do solo em período anterior a coleta como destacado acima. Diferentemente do que ocorreu na área de SE que apresentou menor emissão de C-CO₂, mesmo este também ter revolvimento do solo. Porém na área de SE não há plantio de nenhuma espécie vegetal na área, desta forma, mesmo havendo revolvimento periódico do solo, não existe quantidades mínimas significativas de COT e MOP para beneficiar a atividade microbiana e, conseqüentemente emissões de C-CO₂.

O SPD apresentou uma das menores emissões de C-CO₂ do solo com 18, mg CO₂/50g de solo, o que pode estar ligado a proteção da matéria orgânica pelos agregados em

rearranjo após seis anos de condução, dificultando assim a degradação da mesma pelos microrganismos. Porém, Loss et al. (2014) em Nitossolo no bioma Mata Atlântica encontraram valores de SPD superiores ao SPC e menores com relação a área de mata. Rosset (2015) em Latossolo no bioma Mata Atlântica verificou em SPD com 6, 14 e 22 de implantação, valores inferiores a MN, porém, com aumento do acúmulo no decorrer do tempo de implantação.

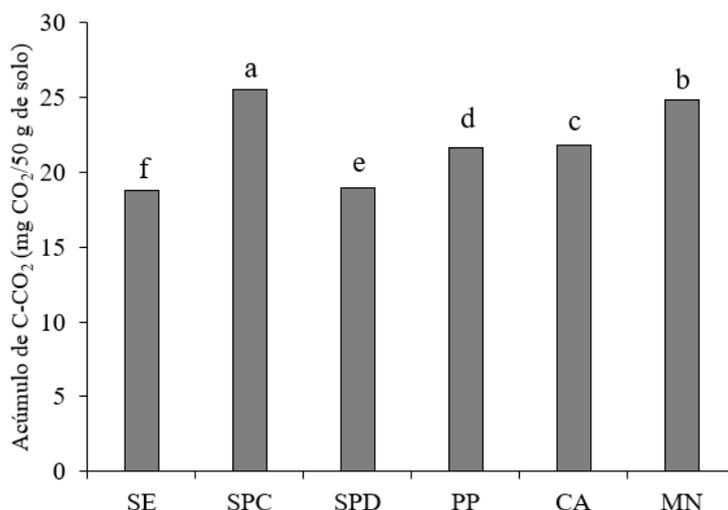


Figura 23. Acúmulo de C-CO₂ durante todo o período de incubação do solo em diferentes sistemas de manejo no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral após seis anos de cultivo, não houveram diferenças significativas na densidade do solo entre os sistemas manejados.

Maiores teores de carbono orgânico total, carbono particulado e mineral, e melhores índices de manejo de carbono foram observados nas áreas de pastagem permanente, cana-de-açúcar e sistema plantio direto, evidenciando melhorias na qualidade da fração orgânica do solo.

Os sistemas de solo exposto e sistema de preparo convencional, contribuem para a diminuição da qualidade do solo, com perdas de matéria orgânica do solo ao longo do tempo, com diminuição dos estoques na fração lábil bem como na fração mais recalcitrante da matéria orgânica do solo, especialmente nas camadas mais superficiais.

A área com sistema de preparo convencional foi a que apresentou picos mais elevados e maior acúmulo de emissão de C-CO₂, demonstrando que sistemas com revolvimento periódico do solo, somado ao clima quente da região contribuem para a emissão

de gases de efeito estufa. Já o sistema plantio direto, cana-de-açúcar e a pastagem permanente apresentaram menores acúmulos de C-CO₂, o que indica maior estabilização do carbono do solo após seis anos de cultivo.

Os sistemas com práticas conservacionistas de manejo do solo, como o sistema plantio direto, pastagem permanente e cana-de-açúcar são eficientes em manter ou aumentar a qualidade do ambiente edáfico, diferentemente de sistemas com revolvimento periódico do solo.

REFERÊNCIAS

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.

ANTUNES, C. H. S.; PORTUGAL, L.; MAIA, J. P.; MOREIRA, R. A.; SILVA, B. M.; SANTOS, W. J. R. Diagnóstico da qualidade físico-química do solo sob diferentes usos e manejos no Sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 4, p. 27-40, 2018.

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, p. 901-911, 2019.

BANDYOPADHYAY, K. K.; LAL, R. Effect of land use management on greenhouse gas emissions from water stable aggregates. **Geoderma**, v. 232-234, n. 11, p. 363-372, 2014.

BANWART, S. Save our soils. **Nature**, v. 474, p. 151-152, 2011.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1471-1478, 2008.

BARROS, J. D. S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; FARIAS, C. H. A.; PEREIRA, W. E.. Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de manejo do solo, nos tabuleiros costeiros paraibanos. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 35-42, 2013.

BATISTA, I.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROWS, J. R. C. Teores e estoque de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3377-3388, 2013.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 599-607, 2000.

BENBI, D. K.; BRAR, K.; TOOR, A. S.; SINGH, P. Total and labile pools of soil organic

carbon in cultivated and undisturbed soils in northern India. **Geoderma**, v. 237-238, n. 1, p. 149-158, 2015.

BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Formas de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2637-2654, 2013.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; NANNI, M. R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 79-87, 2012.

BLAIR, G. J.; LEFROY, B.; LISLE, L. Soil carbon fractions, based on their on 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, 1995.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; LUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 13, n. 1, p. 1-7, 2018.

BURGREVER, J. C.; FREITAS, F. F.; FISTAROL, T. A. F.; ARAÚJO, F. B.; SEBEN JUNIOR, G. F. Propriedades físicas indicadoras da qualidade do solo sob sistemas de manejo – Alta Floresta. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 93-104, 2019.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012.

CARVALHO, J. S.; KUNDE, R. J.; STOCKER, C. M.; LIMA, A. C. R.; SILVA, J. L. S. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1131-1139, 2016.

CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997, 212 p.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; DICKOW, J.; SANTOS, D. C. Fracionamento físico da

matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 794-800, 2014.

COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. M.; GUARESCHI, R. F.; ASSUNÇÃO, S. A. Atributos Edáficos em Áreas de Agricultura, Pastagem e Três Estágios Sucessionais de Floresta. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-11, 2017.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, 2003

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

CRUZ, G. H. T.; DOURADO, F. O.; SANTOS, L. C.; SILVA, M. C.; REIS, E. F.; ÁGUAS, M. A. Propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 6, p. 3002-3011, 2018.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo Vermelho sob Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1836-1844, 2012.

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.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570-574, 2005.

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.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de carbono de Latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 228-239, 2018.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GONÇALVES, A. S.; MONTEIRO, M. T.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana em amostras de solos secadas ao ar e reumedecidas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 651-658, 2002.

GONÇALVES, V. A.; MELO, C. A. D.; ASSIS, I. R.; FERREIRA, L. R.; SARAIVA, D. T. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de

culturas. **Revistas de Ciências Agrárias**, v. 62, p 1-8, 2019.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Estoque de carbono em Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 4, p 597-602, 2012.

IAMAGUTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; SCALA JUNIOR, N. L. Preparo do solo e emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 497-504, 2015.

KUNDE, R. J.; LIMA, C. L. R.; SILVA, S. D. A.; PILLON, C. N. Frações físicas da matéria orgânica em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1520-1528, 2016.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, v. 60, n. 2, p. 158-169, 2009.

LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J.; GUEDES, I. M. R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D. C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 4, p. 378-387, 2016.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 45-55, 2012.

LOSS, A. PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2153-2167, 2013.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, C.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, 2015.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2153-2168, 2013.

MAJUMDER, B.; KUZYAKOV, Y. Effect of fertilization on decomposition of ¹⁴C labelled plant residues and their incorporation into soil aggregates. **Soil & Tillage Research**. v. 109, n. 2, p. 94-102, 2010.

MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1511-1519, 2016.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Ponte Nova: D & M Gráfica e Editora Ltda, 2005. 107 p.

MITTON, R. V.; COBOS, J. Y. G.; BARBOSA, L. R.; BORGIO, J. D. Fracionamento físico da matéria orgânica de um latossolo vermelho distrófico típico pelo método de sonicação. **Scientia Agrária**, v. 18, n. 2, p. 22-29, 2017.

NAGEL, P. L. **Erosão hídrica em Argissolo do Ecótono Cerrado-Pantanal cultivado sobre preparo convencional**. 2014. 39 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2014.

NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; OLIVEIRA, T. P.; SILVA, J. R. M.; PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2011.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

RIBEIRO, L. R. P. **Efeitos de plantas de cobertura e da adubação nitrogenada nas frações da matéria orgânica do solo e na produtividade do milho**. 2016. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

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.

ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; ATANÁZIO, R. A. R. Atributos químicos, estoque de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2351-2366, 2014.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 622-630, 2011.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.

SALES, R. P.; PORTUGAL A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M. ZANATTA, J. A.; CONCENCO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrate crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014

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**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SCHIAVO, J. A.; PEREIRA, M. G.; MIRANDA, L. P. M.; DIAS NETO, A. H.; FONTANA, A. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 881-889, 2010.

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**, v. 46, n. 10, p. 1332-1338, 2011.

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, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, 2004.

VASCONCELOS, R. F. B.; SOUZA, E. R.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, L. S. Qualidade

física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 381-386, 2014.

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, p. 1467-1476, 1988.