

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE MUNDO NOVO
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ELIAS FARIA

**FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
E ÍNDICES DE MANEJO DE CARBONO EM SISTEMAS
DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE MUNDO NOVO, MS**

Mundo Novo - MS

Novembro/2020

ELIAS FARIA

**FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
E ÍNDICES DE MANEJO DE CARBONO EM SISTEMAS
DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE MUNDO NOVO, MS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Ciências Biológicas da
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do
grau de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset

Mundo Novo – MS

Novembro/2020

ELIAS FARIA

**FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
E ÍNDICES DE MANEJO DE CARBONO EM SISTEMAS
DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE MUNDO NOVO, 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 Licenciado em Ciências Biológicas.

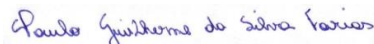
APROVADO EM 03 de novembro de 2020



Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset - Orientador - UEMS _____



Tec. Amb. Me. Jefferson Matheus Barros Ozório - UEMS _____



Tec. Amb. Paulo Guilherme da Silva Farias - UEMS _____

Dedico esta conclusão à minha esposa Cristiane Roberta Marchetto e a todos os contribuintes que pagaram de seus bolsos os impostos para tornar possível esta graduação.

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento vai primeiramente à Deus, onipresente em meu caminho, por ter me concedido saúde e paciência para ao longo dessa jornada, guiando-me, fortalecendo, e abençoando meus caminhos, agraciando-me com capacidade no aprendizado, concedendo-me sabedoria para com esta batalha. Realizo aqui o sonho de muitos seres humanos, principalmente brasileiros, que por fim, muitas vezes não conseguem educação de nível superior.

Desde já, agradeço imensamente aos nobres cidadãos trabalhadores brasileiros que pagam seus impostos, com isso se faz capaz a funcionabilidade desta Instituição de Ensino Superior, bem como tantas outras. Faço aqui também meus agradecimentos aos colegas de sala que, por vezes me apoiaram, por vezes debateram, com ideias ou pensamentos contrários, mas, sempre de uma forma, contribuíram ao longo desta caminhada. Agradeço também a minha família que torceram por mim, me apoiaram, e com palavras animadoras deixaram claro ao que precisasse, estavam disponíveis.

Em especial, agradeço a minha companheira e esposa, Cristiane Roberta Marchetto, por fazer possível esta conclusão, dedicando-se inteiramente as minhas necessidades, me apoiando e fazendo que fosse possível para que eu fosse até o final. Não olvidando, agradecer imensamente ao professor Jean Sérgio Rosset pela orientação, não somente quanto as minhas iniciações científicas, mas dando apoio nas minhas dificuldades, quanto a escrita de meus projetos, sanando minhas dúvidas. Venho reiterar ao corpo docente, meus sinceros agradecimentos pelos sacrifícios, dedicação, atenção e respeito a todos discentes que estiveram ao redor, enquanto eu caminhava. Serei eternamente grato a vocês que me transmitiram vossos conhecimentos, experiências e dedicaram parte do tempo de suas vidas para comigo.

Aos amigos da UEMS, meus sinceros agradecimentos. Lembrar-me-ei para sempre de cada um de vocês, de vossas peculiaridades, de conversas jogadas fora, zoeiras, pressões e angustias antes de cada prova, entre outros sentimentos. Aos amigos e a todos que acreditaram em mim, torceram para que eu concluísse e, assim alcançasse meus objetivos.

Muito obrigado a todos.

Existe uma coisa que uma longa existência me ensinou: toda a nossa ciência, comparada à realidade, é primitiva e inocente; e, portanto, é o que temos de mais valioso.

Albert Einstein

RESUMO

A matéria orgânica do solo (MOS) e suas respectivas frações, associadas a outros indicadores, trazem resultados satisfatórios para a avaliação da qualidade dos atributos edáficos nas mais diversas condições de manejo. Este trabalho objetivou avaliar a dinâmica do carbono orgânico total (COT), o carbono (C) das frações físicas da MOS e índices de manejo de carbono em diferentes sistemas de manejo, no município de Mundo Novo, região Cone-sul de Mato Grosso do Sul. Foram avaliadas duas áreas manejadas: Pastagem com sinais de degradação (PA) e área em recuperação (AR), além de uma área de referência de Mata Nativa (MN) analisadas em função do tempo de condução. Foram realizadas três coletas de amostras de solo: tempo zero mês (março/2016), após seis meses (setembro/2016), e após 12 meses (Março/2017), períodos esses considerados após o início do processo isolamento e revegetação da AR que ocorreu em março de 2016. Para as três coletas de solo, realizadas nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, foram avaliadas a densidade do solo (Ds), teores de COT, os teores das frações físicas granulométricas da MOS: carbono da matéria orgânica partícula (C-MOP) e carbono da matéria orgânica mineral (C-MOM), sendo calculados os estoques de carbono destas frações (EstMOP e EstMOM) e porcentagem relativa de cada fração em relação ao COT, além do índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC). A prática de isolamento e plantio de espécies arbóreas nativas na AR apresentou-se como benéfica para melhoria da qualidade edáfica, principalmente no que se refere a fração orgânica do solo, com aumento nos teores de COT, C-MOP e C-MOM, aumento dos EstMOP e EstMOM e melhoria dos índices de manejo de carbono, especialmente o IEC, L e o IMC após 12 meses do processo de revegetação.

Palavras-chave: Qualidade do solo. Labilidade. Índice de manejo de carbono.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 8 |
| 2. OBJETIVOS..... | 10 |
| 2.1 Objetivo geral..... | 10 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 10 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 10 |
| 3.1 Localização, Clima e Solo das Áreas de Estudo..... | 10 |
| 3.2 Sistemas Avaliados e Histórico de uso..... | 10 |
| 3.3 Coleta de Amostras de Solo..... | 12 |
| 3.4 Análises Realizadas..... | 14 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 17 |
| 4.1 Densidade do solo..... | 17 |
| 4.2 Carbono Orgânico Total | 18 |
| 4.3 Frações da MOP e MOM..... | 20 |
| 4.4 Porcentagem representativa das frações MOP e MOM | 21 |
| 4.5 Estoque de carbono de MOP e MOM..... | 22 |
| 4.6 Índices de manejo de carbono..... | 23 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 26 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 26 |

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da qualidade do solo é feita por um conjunto de indicadores químicos, físicos e biológicos (QI et al., 2009). Diversas práticas de manejo são consideradas necessárias para sustentar o uso do mesmo (AZIZ et al., 2013) e conservar ou melhorar a qualidade do solo (ÁLVARO-FUENTES et al., 2012), resultando em mudanças na qualidade funcional do ambiente edáfico (AZIZ et al., 2013). Desta forma, a avaliação destas modificações em conjunto é reconhecida como necessárias (PARKIN et al., 1996). Neste caso, é importante que se conheça a forma de distribuição dos diferentes compartimentos que compõem a matéria orgânica do solo (MOS), como o carbono (C) das frações físico-granulométricas da MOS (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992).

Níveis adequados de MOS aportados pelos sistemas conservacionistas auxiliam na manutenção da fertilidade e, minimizam os impactos agrícolas sobre o meio ambiente pelo sequestro de C (BERNOUX et al., 1999), reduzindo ainda as taxas de decomposição e as emissões de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera (ÁLVARO-FUENTES et al., 2012). Desta forma, estudos visando a avaliação da magnitude destes mecanismos (PINHEIRO et al., 2004) são fundamentais para o entendimento da dinâmica da MOS tanto em ambientes cultivados, em recuperação e áreas sob vegetação nativa (BERNOUX et al., 1999).

A quantidade de MOS depende da entrada de material orgânico, da sua taxa de mineralização, da textura do solo e do clima, entre outros fatores. Esses fatores interagem de modo que o teor de MOS tende em direção a um valor de equilíbrio em áreas sob vegetação nativa (KHORRAMDEL et al., 2013). Essa conversão de áreas naturais em áreas com cultivos agropecuários modifica o ambiente edáfico, em que a maior área da paisagem passa a ser ocupada por sistemas de produção, que muitas vezes acabam por provocar modificações na qualidade física (LOSS et al., 2015; ROSSET et al., 2014a; 2014b; SALTON et al., 2008; SALES et al., 2018), química (ROSSET et al., 2014a; 2014b; TROIAN et al., 2020) e biológica (ROSSET et al., 2019; FERREIRA et al., 2020) do solo.

No entanto, nos sistemas agrícolas, o manejo adotado tem grande influência nos estoques de MOS, podendo diminuir, manter ou aumentar em relação à vegetação nativa (KHORRAMDEL et al., 2013). Diante disso, fica evidente a importância e a necessidade de estudos a respeito do fracionamento do C nos solos para fornecer subsídios para o melhor manejo com sustentabilidade (SOUZA et al., 2006).

Existem várias formas de se estudar a dinâmica da MOS, dentre elas, se destacam o fracionamento químico (BENITES et al., 2003), o fracionamento físico (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992; CONCEIÇÃO et al., 2008) e o fracionamento oxidável (CHAN et al., 2001).

O fracionamento físico da MOS é uma técnica utilizada para identificação da dinâmica da MOS em relação às diferentes formas de utilização do solo, especialmente em curto período de tempo. O fracionamento físico-granulométrico (peneiramento) consiste na separação e quantificação do C de duas frações orgânicas: o carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) e o carbono da matéria orgânica associada aos minerais (C-MOM) (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). As diferentes formas de utilização do solo, nas quais promovam diferentes aportes de biomassa vegetal pode ser identificada principalmente por meio da fração particulada da MOS (BENBI et al., 2015), considerada mais sensível as alterações no solo, podendo ser utilizada como ferramenta para avaliar a qualidade do sistema, principalmente em curto período de tempo (GREGORICH et al., 2006), quando as alterações no COT do solo ainda não tenham sido de grande magnitude (CONCEIÇÃO et al., 2008). O C-MOM é normalmente, menos modificado pelas diferentes formas de manejo adotadas, principalmente em curto prazo, pois apresenta ciclagem mais lenta (BAYER et al., 2004).

Mediante avaliações dos compartimentos granulométricos da MOS, é possível estimar índices de manejo de C (IMC) (BLAIR et al., 1995) entre as áreas manejadas e em recuperação e aquelas em equilíbrio (vegetação nativa), ampliando o número de indicadores de avaliação da qualidade do compartimento orgânico do solo.

As técnicas de fracionamento da MOS trazem resultados detalhados e conclusivos sobre a dinâmica da MOS ao longo do tempo sob diversas formas de uso do solo, conforme relatado em diferentes trabalhos recentes na literatura (BIELUCZYK et al., 2020; FERREIRA et al., 2020; ROSSET et al., 2019 e SANTOS et al., 2020). Isso se torna de extrema importância quando se quer avaliar os processos de recuperação de áreas ao longo do tempo. Portanto, a avaliação precisa das frações de C do solo se torna muito importante (KNOX et al., 2015). Este conhecimento dos diferentes reservatórios de C permite monitorar a qualidade dos sistemas explorados comercialmente e também das áreas em processo de recuperação ambiental (BENBI et al., 2015). Desta forma, é possível identificar as práticas de manejo e restauração favoráveis para a manutenção da capacidade produtiva dos solos (MAJUMDER; KUZYAKOV, 2010).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a dinâmica do carbono orgânico total, das frações físicas da matéria orgânica do solo e índices de manejo de carbono em diferentes sistemas de manejo ao longo do tempo na região Cone-sul do estado de Mato Grosso do Sul.

2.2 Objetivos específicos

Determinar a densidade do solo de diferentes áreas e tempos de condução.

Quantificar os teores e estoques de carbono orgânico total.

Quantificar os teores e estoques da matéria orgânica particulada e matéria orgânica mineral.

Determinar os índices de manejo de carbono.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização, clima e solo da área de estudo

Foram coletadas amostras de solo em diferentes áreas no município de Mundo Novo, região Cone-sul de Mato Grosso do Sul, Brasil. O clima da região é subtropical (Cfa), com período de chuvas de outubro a março. Segundo levantamento detalhado de solos do estado de Mato Grosso do Sul (SEMADE, 2015), as áreas do estudo se encontram sob Argissolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa (SANTOS et al., 2018).

3.2 Sistemas avaliados e histórico de uso

Foram avaliadas duas áreas manejadas além de uma área de referência (Mata Nativa - MN) sem ação antrópica, perfazendo três sistemas diferenciados analisados em função do tempo de condução em delineamento inteiramente casualizado. As duas áreas manejadas compreendem: área de pastagem permanente coast-cross (*Cynodon dactylon*), com lotação de bovinos de corte de 3,5 UA ha⁻¹, com sinais visíveis de degradação (Pastagem – PA) e uma área que se encontrava com as mesmas condições da área de PA, porém em março de 2016 foi isolada (cercada – para evitar que os bovinos entrem na área), sendo efetuado o plantio de espécies arbóreas nativas (reflorestamento) para recuperação (área em restauração – AR). A imagem aérea e a descrição detalhada das áreas são representadas nas Figura 1 e 2 e na Tabela 1, respectivamente. A relação das espécies arbóreas nativas plantadas na AR em março de 2016 se encontra na Tabela 2.

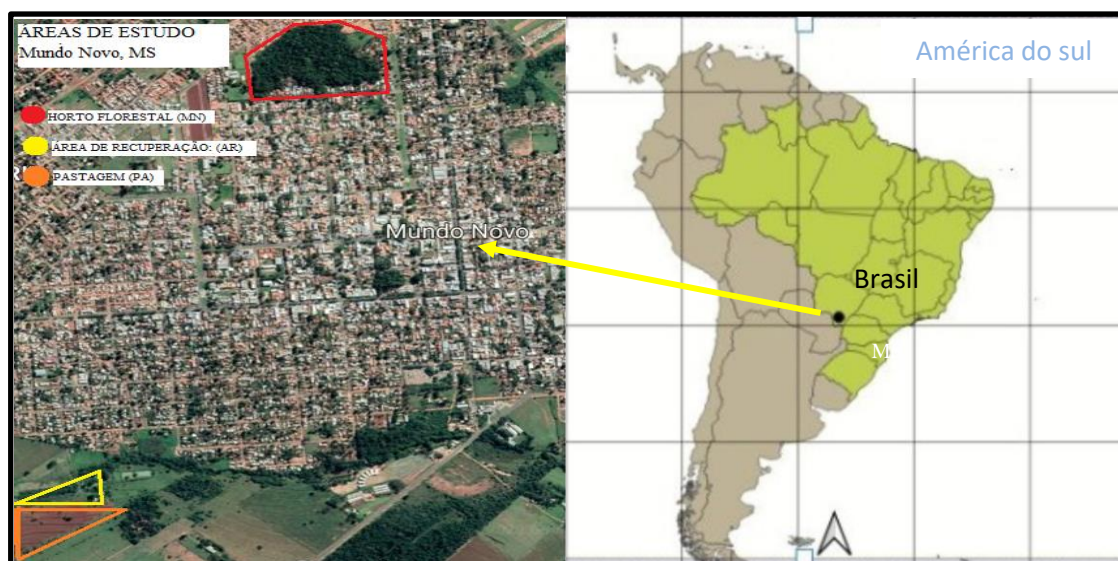
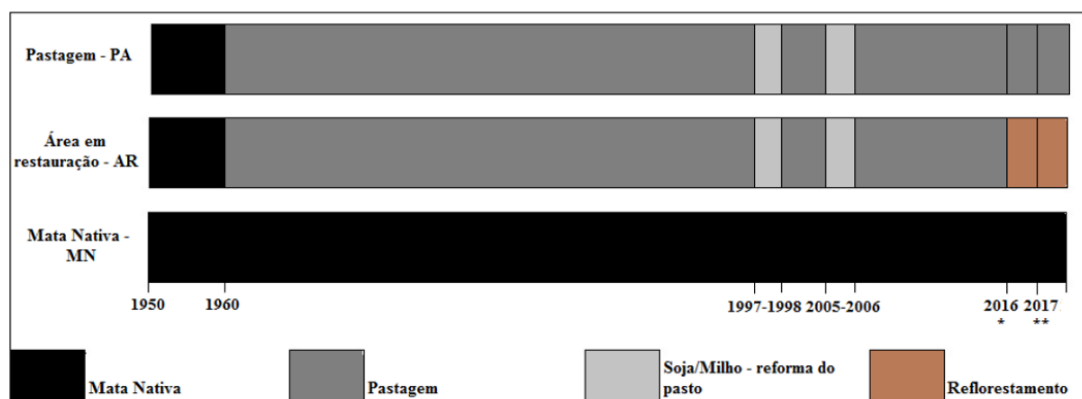


Figura 1. Imagem aérea dos diferentes sistemas de manejo. 1: Pastagem – PA; 2: Área em recuperação – AR; 3: Mata Nativa MN e sua localização no Brasil e América do Sul.

Tabela 1. Histórico, descrição e localização das áreas de estudo.

| Sistema de manejo | Descrição |
|--------------------------|--|
| Pastagem - PA | 14 ha; 299 m de altitude, 23°56'052'' S e 54°17'058'' O; permanente com coast-cross (<i>Cynodon dactylon</i>). |
| Área em restauração - AR | 0,5 ha; 298 m de altitude, 23°56'051'' Sul (S) e 54°17'057'' Oeste (O). |
| Mata Nativa - MN | 2 ha; Área sob vegetação nativa (Mata Atlântica – Floresta Estacional Semidecidual), 293 m de altitude, 23°56'048'' S e 54°17'033'' O, utilizada como referencial. |



*: Primeira coleta de solos (Março de 2016) e Segunda coleta de solos (Setembro de 2016); **: Terceira coleta de solos (Março de 2017)

Figura 2. Histórico dos usos e mudanças do uso das áreas, com as respectivas datas de implantação/modificação e coletas de solo.

Tabela 2. Relação das espécies arbóreas utilizadas na recuperação da área degradada.

| Nome Científico | Nome Popular | Família | Grupo Ecológico |
|--|--------------------|-------------------------------|-----------------|
| <i>Acca sellowiana</i> (O. Berg) Burret | Goiaba do Mato | Myrtaceae | Pioneira |
| <i>Allophyllic edulis</i> (A. St. Hill. & al.) Raul. | Vacum | Sapindácea | Pioneira |
| <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan | Angico Vermelho | Leguminosae – Mimosoideae | Oportunista |
| <i>Cecropia pachystachya</i> Trec. | Embaúba | Cecropiaceae | Pioneira |
| <i>Cordia ecalyculata</i> Vell. | Café de Bugre | Boraginaceae | Pioneira |
| <i>Croton urucurana</i> Baill. | Sangra d'água | Euphorbiaceae | Pioneira |
| <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong. | Timburi | Leguminosae – Mimosoideae | Pioneira |
| <i>Eugenia involucrata</i> DC. | Cereja do Mato | Myrtaceae | Secundária |
| <i>Eugenia pyriformis</i> Camb. | Uvaia | Myrtaceae | Pioneira |
| <i>Gallesia integrifolia</i> (Sprengs.) Harms | Pau d'alho | Phytolaccaceae | Secundária |
| <i>Genipa americana</i> L. | Jenipapo | Rubiaceae | Secundária |
| <i>Guibourtia hymenifolia</i> (Moric.) J. Leonard | Jatobá-Mirim | Leguminosae – Caesalpinoideae | Clímax |
| <i>Hymenaea courbaril</i> L. | Jatobá | Leguminosae – Caesalpinoideae | Secundária |
| <i>Inga vera</i> Willd. | Ingá | Fabaceae | Pioneira |
| <i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart. | Jacarandá | Bignoniaceae | Secundária |
| <i>Ocotea corymbosa</i> (Meisn.) Mez | Canela | Lauraceae | Oportunista |
| <i>Patagonula americana</i> L. | Guajuvira | Boraginaceae | Secundária |
| <i>Peltophoru dubium</i> (Spreng.) Taub. | Canafístula | Leguminosae – Caesalpinoideae | Pioneira |
| <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi. | Aroeira Pimenteira | Anacardiaceae | Pioneira |
| <i>Tabebuia heptaphylla</i> (Vell.) Tol. | Ipê Roxo | Bignoniaceae | Secundária |
| <i>Tabebuia ochracea</i> (Cham.) Standl. | Ipê Amarelo | Bignoniaceae | Clímax |
| <i>Tabebuia roseo-alba</i> (Ridl.) Sand. | Ipê Branco | Bignoniaceae | Pioneira |

Fonte: Gibbert (2017).

3.3 Coletas de Amostras de Solo

Em cada uma das três áreas de estudo foram demarcadas quatro glebas de 400 m², nas quais foram realizadas as coletas das amostras de solo no tempo zero (0) meses (março de 2016), após seis (6) meses (setembro de 2016) e doze (12) meses (março de 2017), tempo este, sendo considerado em função do momento da prática do isolamento e plantio de espécies arbóreas nativas na AR, que ocorreu em março de 2016, sendo que cada gleba representou uma repetição. Seguem as imagens da coleta 1 (março de 2016 – Figura 3), coleta 2 (setembro de 2016 – Figura 4) e coleta 3 (março de 2017 – Figura 5).



Figura 3. Áreas de PA, AR e MN, respectivamente, na primeira coleta (março de 2016 – zero meses).



Figura 4. Áreas de PA, AR e MN, respectivamente, na primeira coleta (setembro de 2016 – seis meses).



Figura 5. Áreas de PA, AR e MN, respectivamente, na terceira coleta (março de 2017 – 12 meses).

As amostras foram coletadas em quatro pontos (glebas-repetições), sendo que, cada amostra composta foi representada por cinco amostras simples dentro das três áreas de estudo, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m. Após a coleta, as amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) para posteriores análises de COT e fracionamento físico da MOS. Foram coletadas também amostras indeformadas com auxílio de anel volumétrico com volume de 46,2 cm³ com quatro repetições em todas as áreas e camadas (Figura 6).



Figura 6. Coleta de amostra indeformada de solo com auxílio do anel volumétrico.

3.4 Análises Realizadas

No início do experimento, em março de 2016, foram coletadas amostras de solos das três áreas, na camada de 0-0,2 m com o intuito de caracterização química e física do solo das áreas de estudo. Estas amostras foram enviadas para laboratório comercial, para realização de análise de rotina, e o resultado da caracterização das áreas se encontra na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização física e química das áreas estudadas.

| | Areia | Silte | Argila | pH | MO | P | K | Ca | Mg | Al | H+Al | SB | CTC | V |
|----|-------------------------------|-------|--------|-------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| | -----g kg ⁻¹ ----- | | | CaCl ₂ | g dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | -----cmolc dm ⁻³ ----- | | | | | | | % |
| PA | 772 | 116 | 112 | 4,99 | 18,86 | 1,36 | 0,08 | 2,4 | 1,2 | 0,08 | 3,0 | 3,68 | 6,68 | 55,1 |
| AR | 772 | 133 | 95 | 5,12 | 25,42 | 1,95 | 0,11 | 2,1 | 1,1 | 0,00 | 2,6 | 3,31 | 5,91 | 56,0 |
| MN | 805 | 67 | 128 | 4,74 | 17,76 | 4,29 | 0,10 | 1,5 | 1,1 | 0,06 | 2,8 | 2,70 | 5,50 | 49,1 |

Análises realizadas no início do experimento (março de 2016). Laboratório: NUTRISOLO, Ivinhema, MS. PP: pastagem permanente. AR: área em recuperação. MN: mata nativa. Granulometria: método da pipeta. Caracterização química - Cloreto de Cálcio (pH); Mehlich (P e K); KCl 1N (Ca, Mg e Al); Acetato de Cálcio pH 7,0 (H + Al); Oxidação por dicromato de potássio (MO).

As demais análises foram efetuadas no Laboratório de Ensino de Química da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade de Mundo Novo. As análises de densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico foram realizadas segundo metodologia descrita por (CLAESSEN et al., 1997). O carbono orgânico total (COT) foi determinado pela oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio, em meio sulfúrico, sob aquecimento e titulado com sulfato ferroso amoniacal (YEOMANS; BREMNER, 1988) conforme Figuras 7 e 8.

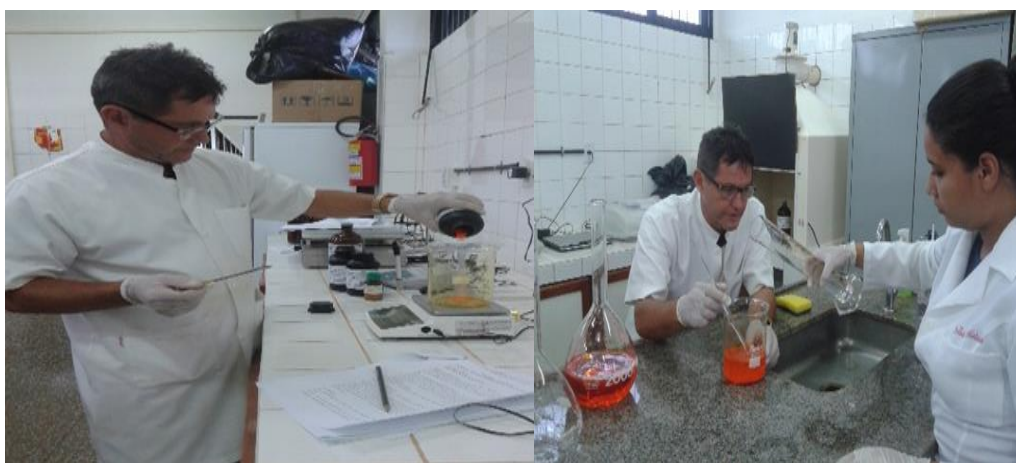


Figura 7. Preparo das soluções de dicromato de potássio e sulfato ferroso amoniacal.



Figura 8. Procedimentos relativos à análise de carbono orgânico total do solo (COT).

A titulação do COT consistiu em transferir as amostras de solos que estavam armazenadas em eppendorfs, para erlenmeyer de 125 ml ou 250 ml; adicionar 5 ml da solução de dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$, e em seguida 7,5 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após esses procedimentos, foram colocados condensadores nos erlenmeyers, sendo transferidos para chapa aquecedora já pré-aquecida a $170 \text{ }^\circ\text{C}$, sendo mantidos por 30 minutos. Após o tempo de 30 minutos, os erlenmeyers foram retirados da chapa, aguardando-se 15 minutos para esfriar, sendo adicionando 60 ml de água destilada, 5 gotas de solução indicadora Ferroin. Após essas etapas, as amostras foram tituladas com solução de sulfato amoniacal $0,2 \text{ mol L}^{-1}$, tomando-se o cuidado para o ponto de “viragem” passando de verde para violeta escuro.

Para o fracionamento granulométrico da MOS, 20 g de TFSA e 60 ml de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}) foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal, (Figura 9) (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992).



Figura 9. Agitador horizontal utilizado para o fracionamento físico granulométrico da MOS.

Em seguida, a suspensão foi passada em peneira de 0,053 mm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, foi considerado como matéria orgânica particulada (MOP) associada à fração areia, foi seco em estufa a 45 °C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana sendo analisado o teor de C da MOP (C-MOP) pela oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio, em meio sulfúrico, e titulado com sulfato ferroso amoniaco (YEOMANS; BREMNER, 1988). O material que passou pela peneira de 0,053 mm que consistiu na matéria orgânica associada aos minerais das frações silte e argila (C-MOM), foi obtido pela diferença entre o COT e MOP.

Posteriormente foram calculados índices para avaliação da qualidade da fração orgânica do solo: índice de estoque de carbono (IEC) (1), labilidade da MOS (Lab.) (2), índice de labilidade (ILab) (3) e índice de manejo de carbono (IMC) (4). O cálculo do IMC e de seus respectivos componentes foi realizado conforme as equações que seguem, como proposto por Blair et al. (1995).

$$IEC = \frac{COT\ trat}{COT\ ref} \quad (1)$$

$$Lab = \frac{C-MOP}{C-MOM} \quad (2)$$

$$ILab = \frac{Lab\ trat}{Lab\ ref} \quad (3)$$

$$IMC = IEC \times ILab \times 100 \quad (4)$$

Onde:

IEC = índice de estoque de C;

COT trat. = estoque de COT (Mg ha⁻¹) no sistema de manejo em análise;

COT ref. = estoque de COT (Mg ha⁻¹) no sistema referência (Mata Nativa);

Lab. = labilidade da MOS;

C-MOP = carbono da fração particulada da MOS;

C-MOM = carbono da fração associada aos minerais da MOS;

ILab = índice de labilidade do sistema de manejo em análise;

Lab trat = labilidade da MOS no sistema de manejo em análise;

Lab. ref. = labilidade da MOS no sistema de referência (Mata Nativa);

IMC = índice de manejo de carbono.

A partir da determinação dos teores de C-MOP e C-MOM, foram calculados a porcentagem relativa de cada uma das duas frações em relação ao COT, além dos estoques de C-MOP (EstMOP) e C-MOM (EstMOM) segundo o método da massa equivalente (ELLERT; BETTANY, 1995; SISTI et al., 2004).

Após todas as análises serem realizadas e os dados tabulados, os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, em delineamento inteiramente casualizado, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F, e os valores médios foram comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Densidade do solo

Os valores de densidade do solo (Ds) e os teores de carbono orgânico total (COT), carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) e carbono da matéria orgânica associada aos minerais (C-MOM) estão apresentados na Tabela 4. Para a densidade do solo (Ds), no início do experimento, em março de 2016 (1º coleta), a área de PA apresentou maior valor na camada de 0-0,05 m, 1,72 Mg m⁻³, sendo diferente das demais áreas estudadas (Tabela 4). Quando se compara diferentes solos ou camadas, costuma-se encontrar valores de Ds variados, sendo isto reflexo das diferentes estruturas morfológicas que compõem o solo, além do manejo adotado (LIER, 2010).

Diferentemente do que ocorreu na área de MN e AR, na qual, na primeira coleta, apresentaram menores valores, 1,36 e 1,35 Mg m⁻³. Para as demais camadas, observam-se valores semelhantes entre as áreas de PA e AR (Tabela 4). Menores valores para Ds na área de MN estão associados à ausência de animais na área e também a ausência de qualquer atividade antrópica. Por apresentar pouca ou nenhuma dependência de fatores como a umidade, a Ds é o mais seguro atributo para avaliar a compactação do solo (REICHERT et al., 2007). A Ds em ambientes não cultivados é um atributo físico que depende dos fatores e processos pedogenéticos. O uso pode compactar o solo, expresso pelo aumento da Ds devido ao pisoteio animal, tráfego de máquinas e implementos agrícolas, cultivo intensivo e sistema de manejo inadequado (HAMZA; ANDERSON, 2005).

Destaca-se principalmente quando se avalia a AR ao longo do tempo de condução do estudo (0, 6 e 12 meses), para as três camadas avaliadas, não houve diminuição nos valores de Ds (Tabela 4). A maior variação é percebida na camada de 0-5 onde a densidade caiu de 1.35 Mg m⁻³ para 1.26 Mg m⁻³. Esse resultado demonstra que mesmo após 1 ano de estudo, esse tempo não foi suficiente para que a prática de recuperação e diminuição da DS da AR

(isolamento da área e plantio de espécies arbóreas nativas) trouxesse melhorias na qualidade física do solo, ou seja, diminuição nos valores de Ds.

Na medida em que se intensifica o uso agrícola os atributos físico-hídricos do solo sofrem alterações, geralmente adversas ao crescimento vegetal, que ficam mais nítidas quando os sistemas de uso são comparados com o estado do solo ainda sob vegetação natural (SANTOS, 2020, SANTOS et al., 2011). Porém, na camada de 0-0,05 m, camada mais sensível as ações antrópicas, os valores de Ds da AR e MN foram inferiores a PA na terceira coleta, com valores de 1,26, 1,32 e 1,65 Mg m⁻³, respectivamente.

4.2 Carbono Orgânico Total

Com relação ao COT, para as três camadas avaliadas, na primeira coleta realizada não houveram diferenças significativas entre as áreas estudadas. Já quando se avalia a dinâmica do COT ao longo do tempo de avaliação, a AR na camada mais superficial de 0-0,05 m apresentou aumento de 31% entre o tempo zero e após 1 ano de avaliação, passando de 17,31 para 22,67 g kg⁻¹ de COT (Tabela 4). Este resultado se mostra muito significativo por conta de o COT ser um dos melhores indicadores de qualidade do solo e, conseqüentemente, influenciar nos demais atributos edáficos (BAYER et al., 2004). Esse aumento dos teores de COT na AR após 1 ano de isolamento da área e plantio de espécies arbóreas nativas está associado ao aporte de resíduos vegetais (serapilheira) que passou a ser constante de e à ausência da mobilização excessiva do solo via seu preparo e pastejo excessivo, o qual diminui a exposição do carbono protegido nos agregados ao ataque da comunidade microbiana retardando o processo de decomposição.

Tabela 4. Densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT), carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) e carbono da matéria orgânica associada aos minerais (C-MOM) nas diferentes áreas, camadas e coletas.

| Sistema de manejo | Ds (Mg m ⁻³) | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------------|-----------|-----------|--------------------|------------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| | 0-0,05 m | | | | 0,05-0,1 m | | | | 0,1-0,2 m | | | |
| | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² |
| PA | 1,72aA | 1,60aA | 1,65aA | 8,1 | 1,66aA | 1,47aA | 1,47aA | 6,6 | 1,60aA | 1,58aA | 1,48aA | 8,1 |
| AR | 1,35aB | 1,32aAB | 1,26aB | 11,9 | 1,47aAB | 1,46aA | 1,45aA | 8,5 | 1,44aAB | 1,48aAB | 1,52aA | 7,1 |
| MN | 1,36aB | 1,22aB | 1,32aB | 5,5 | 1,40aB | 1,27aA | 1,35aA | 5,6 | 1,29aB | 1,31aB | 1,39aA | 7,2 |
| CV(%) ¹ | 6,9 | 7,6 | 11,6 | | 6,6 | 7,5 | 7,1 | | 5,6 | 7,5 | 9,0 | |
| | COT (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | | | |
| | 0-0,05 m | | | | 0,05-0,1 m | | | | 0,1-0,2 m | | | |
| | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² |
| PA | 12,93aA | 14,19aB | 16,07aB | 17,3 | 14,90aA | 13,23aAB | 15,38aB | 11,9 | 14,38aA | 10,26aA | 14,25aA | 25,6 |
| AR | 17,31bA | 18,70bA | 22,67aA | 6,8 | 15,56aA | 16,00aA | 18,72aA | 22,9 | 15,50aA | 13,85aA | 15,36aA | 9,8 |
| MN | 16,76aA | 15,00aB | 15,18aB | 20,4 | 13,07aA | 11,37aB | 10,74aC | 17,9 | 11,43aA | 10,08aA | 7,86aB | 23,8 |
| CV(%) ¹ | 16,5 | 10,1 | 16,6 | | 28,8 | 11,2 | 10,2 | | 24,5 | 20,9 | 10,0 | |
| | C-MOP (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | | | |
| | 0-0,05 m | | | | 0,05-0,1 m | | | | 0,1-0,2 m | | | |
| | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² |
| PA | 7,34aB | 7,29aA | 6,44aB | 9,4 | 7,46aA | 5,83bAB | 6,23abB | 12,6 | 7,25aA | 3,76bB | 4,66bB | 11,4 |
| AR | 8,52bAB | 8,06baA | 10,61aA | 11,1 | 7,86aA | 6,82aA | 8,42aA | 12,1 | 7,59aA | 5,25bA | 6,15bA | 11,1 |
| MN | 8,97aA | 7,14baA | 7,07bB | 10,6 | 8,40aA | 5,04bB | 6,06bB | 11,6 | 7,45aA | 4,01bB | 4,48bB | 13,7 |
| CV(%) ¹ | 9,9 | 9,1 | 12,2 | | 14,4 | 11,2 | 8,8 | | 11,5 | 10,1 | 13,2 | |
| | C-MOM (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | | | |
| | 0-0,05 m | | | | 0,05-0,1 m | | | | 0,1-0,2 m | | | |
| | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² |
| PA | 5,62bB | 6,90bB | 9,62aB | 13,6 | 7,44aA | 7,40aB | 9,15aA | 12,0 | 7,13bA | 6,50bB | 9,59aA | 8,7 |
| AR | 8,79bA | 10,64abA | 12,06aA | 9,7 | 7,70bA | 9,17abA | 10,3aA | 10,8 | 7,91aA | 8,60aA | 9,22aA | 10,5 |
| MN | 7,79aA | 7,85aB | 8,10aB | 9,2 | 4,66bB | 6,33aB | 4,68bB | 10,5 | 3,98bB | 6,06aB | 3,39bB | 18,2 |
| CV(%) ¹ | 11,5 | 13,1 | 8,1 | | 14,9 | 10,1 | 9,7 | | 15,6 | 7,2 | 11,3 | |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha para cada área e camada (entre coletas), e maiúscula na coluna para cada camada (entre tratamentos) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). PA: Pastagem; AR: Área em restauração; MN: Mata nativa. CV¹: Coeficiente de variação nas análises entre os sistemas de manejo na mesma coleta. CV²: Coeficiente de variação nas análises do mesmo sistema de manejo nas diferentes coletas.

Esses resultados de aumentos dos teores de COT na AR são diferentes dos resultados da área de PA que não foi recuperada, onde não houve aumento dos teores de COT em nenhuma das camadas avaliadas ao longo do tempo do estudo (Tabela 4). Em áreas com manejo correto da pastagem, em função da renovação contínua do sistema radicular, o potencial de acúmulo de COT é maior (TROIAN et al., 2020). Diferentemente do que ocorre em áreas com pastagens degradadas, o que leva a maiores perdas de carbono na forma de dióxido de carbono para a atmosfera quando comparadas com pastagens bem manejadas (PLANTE et al., 2011), sendo variável de região para região, assim como influenciada pela quantidade de carbono que entra no sistema, taxa de decomposição, clima e textura do solo (JOHNSTON et al., 2009). Sistemas de uso e manejo que reduzem e controlam os processos de degradação do ambiente edáfico são necessários para manter a sustentabilidade ambiental e econômica dos solos. O solo é considerado degradado se os processos naturais ou antropogênicos proporcionarem redução da quantidade e qualidade de biomassa, bem como aumento nos custos de produção (LAL, 1997), como acontece nos processos de reforma de pastagens quando o estágio de degradação está avançado.

4.3 Frações da MOP e MOM

Os diferentes sistemas de uso e manejo do solo influenciaram diretamente na quantidade de carbono orgânico das frações físicas-granulométricas (Tabela 4). Para a fração granulométrica mais sensível em detectar modificações nos sistemas de manejo (C-MOP), principalmente na camada de 0-0,05 m, da mesma forma como para o COT, foram observados aumentos nos teores na AR entre o tempo zero e após 12 meses de avaliação, com teores de 5,52 e 10,61 g kg⁻¹, respectivamente. O aporte constante de resíduos vegetais na superfície do solo, somado ao não revolvimento do solo contribuem para o acúmulo de MOP (ROSSET et al., 2014b; 2019).

Da mesma forma como houve aumentos nos teores de COT e C-MOP na AR ao longo do tempo de estudo, para as camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m a AR também apresentou aumento significativo dos teores de C-MOM, passando de 8,79 para 12,06 g kg⁻¹ na camada de 0-0,05 no tempo zero e após 1 ano de avaliação, respectivamente, e 7,70 para 10,30 g kg⁻¹ no mesmo período para a camada de 0-0,05 a 0,1 m (Tabela 4). Esses resultados demonstram que a partir do momento do isolamento e recomposição vegetal da AR, os processos de humificação são beneficiados, ou seja, parte do C-MOP, através da humificação da MOS passa a se transformar em frações mais estáveis no solo (C-MOM).

4.4 Porcentagem representativa das frações MOP e MOM

De maneira geral, houve maior representatividade da fração da MOM em relação à MOP. A área de MN na camada de 0,05-0,1 m para a primeira coleta apresentou a maior representatividade do C-MOP, 64,87%. Em contrapartida, a área de PA na camada de 0-1-0,2 m na terceira coleta apresentou a maior representatividade de C-MOM, 66,87% (Figura 9).

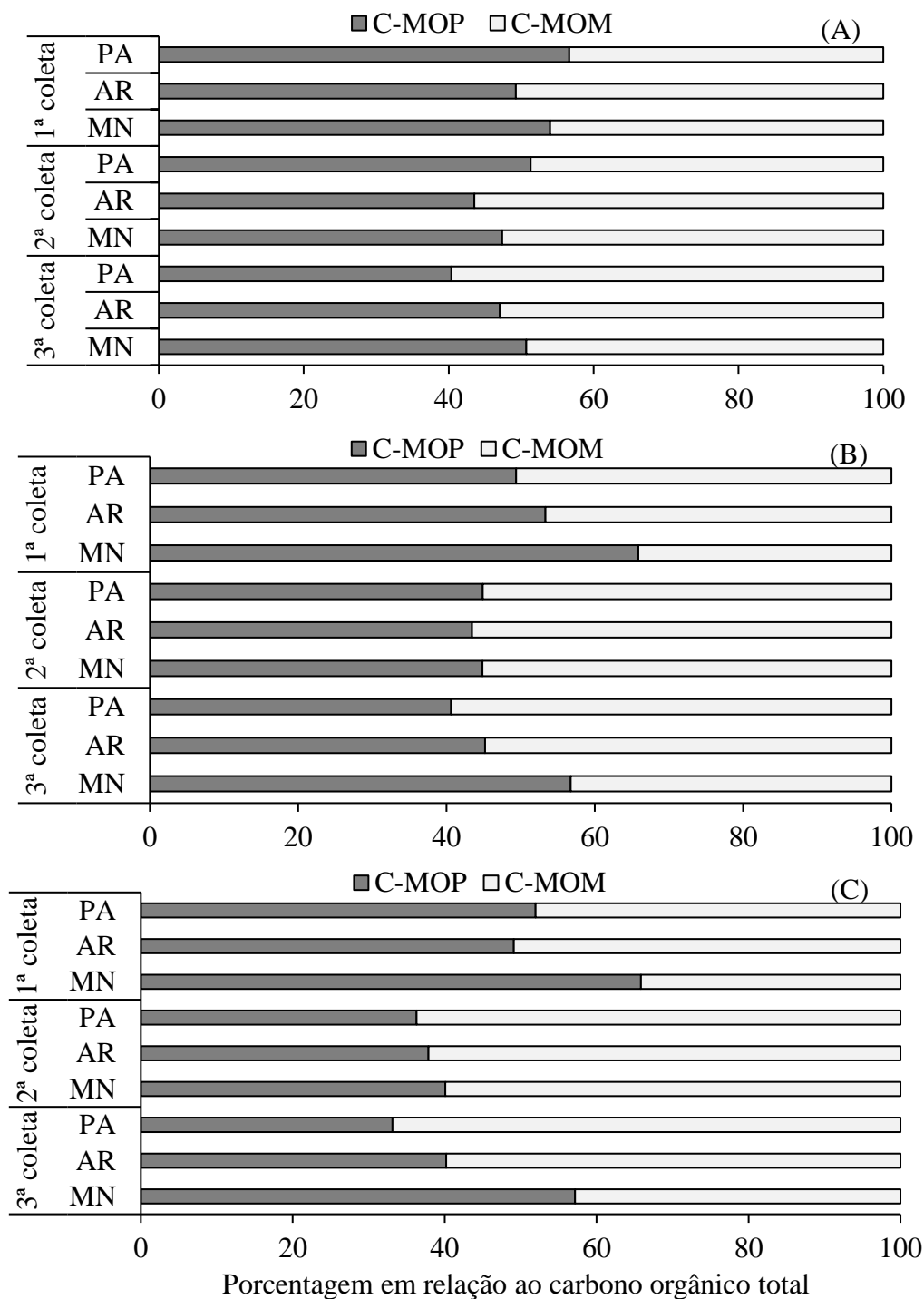


Figura 9. Porcentagem de carbono orgânico particulado (C-MOP) e carbono associado aos minerais (C-MOM) em relação ao carbono orgânico total (COT) nas camadas de 0-0,05 m (A), 0,05-0,1 m (B) e 0,1-0,2 m (C).

Como a MOM apresenta uma ciclagem mais lenta, no que se refere à sua formação e decomposição, é necessário um período maior para que a alteração dos sistemas de manejo tenha efeito no estoque de C desta fração, assim, o período em que esteve manejada com sistema plantio direto que preconiza o não revolvimento do solo, auxiliou nos processos de humificação da matéria orgânica (BAYER et al., 2004). De acordo com Zhongkui et al. (2010) um solo de boa qualidade não deve apresentar apenas elevado teor de MOS, necessita também de equilíbrio entre formas estáveis e mineralizáveis da MOS. O acúmulo de carbono nas frações lábeis e estáveis da MOS apresenta alto dinamismo, e é influenciado pela composição química (relação C/N), aporte de resíduos ao solo, condições climáticas e manejo adotado.

Conforme aumentou o teor de COT e C-MOP na AR em função do tempo (Tabela 4), a representatividade em relação ao COT não aumentou na mesma proporção (Figura 9). Isso sugere que o aumento dos teores de C-MOM também contribuiu para que a relação não fosse tão desproporcional.

4.5 Estoque de carbono de MOP e MOM

Quando se avalia os estoques de carbono das frações granulométricas da MOS (Figuras 10A e B), observam-se valores superiores de MOP para a AR em relação as demais áreas estudadas para a terceira coleta nas camadas de 0-0,05 e 0,1-0,2 m, 7,03 e 8,58 Mg ha⁻¹, respectivamente. Para a camada que apresenta a maior sensibilidade em detectar modificações de qualidade edáfica (0-0,05 m), a AR apresentou aumento gradativo em função do tempo para os estoques de MOP, 5,79, 4,91 e 7,03 Mg ha⁻¹, sendo a diferença significativa entre a segunda e terceira coleta (Figura 10A).

Essa diferença nos estoques de MOP encontrada na AR na camada de 0-0,05 m em função do tempo (Figura 10A) não foi verificada quando se observa os estoques da MOM, na qual a variação entre a primeira, segunda e terceira coleta foi de 5,99, 6,47 e 7,95 Mg ha⁻¹, sendo semelhantes (Figura 10B). Tanto para o Est MOP e EstMOM, ao final do experimento (3ª coleta), houve maiores estoques destas frações na AR, seguida da área de PA para a MOP (Figura 10A), porém, sendo semelhantes entre si e diferentes da área de MN para a MOM (Figura 10B).

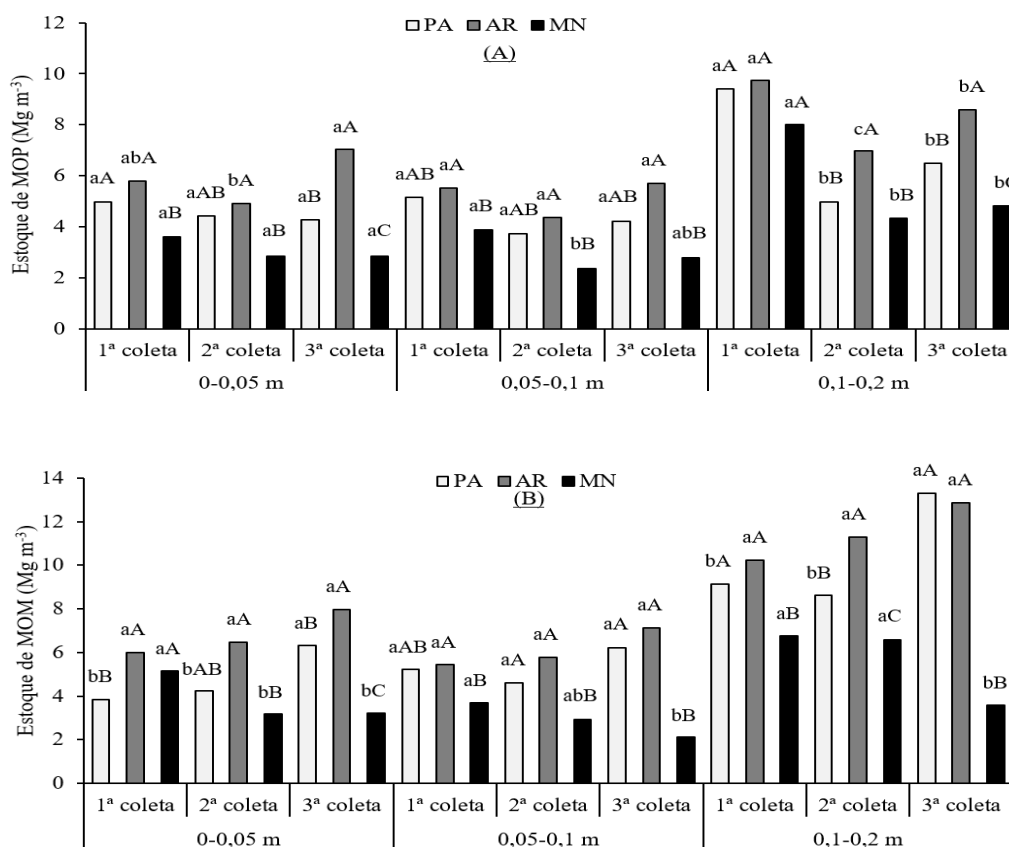


Figura 10. Estoque de carbono da matéria orgânica particulada (EstMOP) (A) e matéria orgânica mineral (EstMOM) (B) do solo nas diferentes áreas, camadas e tempos de coleta de solo estudada. Médias seguidas de mesma letra minúscula para cada área por coleta e camada, e maiúscula entre as áreas em cada coleta não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). PA: Pastagem; AR: Área em recuperação; MN: Mata nativa.

4.6 Índices de manejo de carbono

O índice de estoque de carbono (IEC) representa a relação entre os teores de carbono das áreas manejadas de PA e AR em relação à área de MN. Sendo assim, a área referencial tomada como base foi a MN com valor de 1,00. Com exceção para a área de PA nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m, na primeira coleta, todas as áreas e camadas apresentaram valores superiores a 1,00. Destaca-se novamente a AR que, em todas as camadas estudadas apresentou aumento nos valores de IEC com o passar do tempo de avaliação, com diferenças significativas especialmente entre a segunda e terceira coletas, sendo superior a área de PA na terceira coleta nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m (Tabela 5).

Tabela 5. Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (Lab), índice de labilidade (ILab) e índice de manejo de carbono (IMC) nas diferentes áreas, camadas e coletas.

| Sistema de manejo | IEC | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|------------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| | 0-0,05 m | | | | 0,05-0,1 m | | | | 0,1-0,2 m | | | |
| | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² |
| PA | 0,77bB | 0,93bB | 1,11aB | 8,8 | 1,17aAB | 1,17aAB | 1,45aB | 12,2 | 1,22bA | 1,09bB | 1,82aA | 8,5 |
| AR | 1,05cA | 1,27bA | 1,58aA | 6,2 | 1,21bA | 1,41bA | 1,78aA | 11,7 | 1,39bA | 1,51bA | 1,97aA | 8,1 |
| MN | 1,00aA | 1,00aB | 1,00aC | - | 1,00aB | 1,00aB | 1,00aC | - | 1,00aB | 1,00aB | 1,00aB | - |
| CV(%) ¹ | 4,5 | 8,7 | 4,4 | | 9,4 | 11,8 | 10,6 | | 8,1 | 9,8 | 5,6 | |
| | Lab | | | | | | | | | | | |
| | 0-0,05 m | | | | 0,05-0,1 m | | | | 0,1-0,2 m | | | |
| | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² |
| PA | 1,39aA | 1,10bA | 0,71cB | 13,1 | 1,05aB | 0,88abA | 0,73bB | 11,3 | 1,16aB | 0,58bA | 0,50bB | 12,4 |
| AR | 0,98aB | 0,81aB | 0,95aAB | 13,9 | 1,30aB | 0,83bA | 0,88abB | 23,1 | 0,97aB | 0,61bA | 0,69bB | 15,4 |
| MN | 1,20aAB | 0,91bAB | 1,19aA | 10,1 | 2,32aA | 0,91bA | 1,43bA | 18,1 | 2,07aA | 0,69cA | 1,41bA | 12,7 |
| CV(%) ¹ | 12,4 | 10,6 | 13,6 | | 18,9 | 18,2 | 23,4 | | 12,3 | 15,8 | 13,4 | |
| | ILab | | | | | | | | | | | |
| | 0-0,05 m | | | | 0,05-0,1 m | | | | 0,1-0,2 m | | | |
| | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² |
| PA | 1,20aA | 1,23aA | 0,92bA | 10,6 | 0,59bB | 1,03aA | 0,57bB | 15,8 | 0,63bB | 0,90aA | 0,41cC | 10,3 |
| AR | 0,86aB | 0,87aB | 0,90aA | 13,6 | 0,65bB | 0,95aA | 0,62aB | 11,3 | 0,52bC | 0,95aA | 0,51bB | 12,5 |
| MN | 1,00aB | 1,00aB | 1,00aA | - | 1,00aA | 1,00aA | 1,00aA | - | 1,00aA | 1,00aA | 1,00aA | - |
| CV(%) ¹ | 9,0 | 6,7 | 13,1 | | 10,1 | 9,5 | 10,3 | | 7,0 | 9,5 | 4,0 | |
| | IMC | | | | | | | | | | | |
| | 0-0,05 m | | | | 0,05-0,1 m | | | | 0,1-0,2 m | | | |
| | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta | CV(%) ² |
| PA | 90,58bAB | 115,68aA | 86,38bB | 12,1 | 64,56bB | 118,49aAB | 83,32bB | 13,2 | 69,37bB | 93,52aB | 73,24bB | 8,5 |
| AR | 87,69cB | 106,92bA | 134,52aA | 6,2 | 64,18cB | 133,38aA | 109,03bA | 6,2 | 70,09cB | 138,21aA | 101,54bA | 8,8 |
| MN | 100,00aA | 100,00aA | 100,00aB | - | 100,00aA | 100,00aB | 100,00aA | - | 100,00aA | 100,00aB | 100,00aA | - |
| CV(%) ¹ | 6,1 | 8,6 | 7,7 | | 8,2 | 8,3 | 6,8 | | 7,6 | 7,6 | 5,0 | |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha para cada área e camada (entre coletas), e maiúscula na coluna para cada camada (entre tratamentos) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). PA: Pastagem; AR: Área em restauração; MN: Mata nativa. CV*: Coeficiente de variação nas análises entre os sistemas de manejo na mesma coleta. CV**: Coeficiente de variação nas análises do mesmo sistema de manejo nas diferentes coletas.

Este resultado corrobora com aumento dos teores de COT, C-MOP e C-MOM (Tabela 4) que esta área apresentou com o passar do tempo após isolamento e plantio de espécies arbóreas. O resultado encontrado expressa o potencial de aumento do carbono orgânico do solo em função da adoção de práticas de recuperação de áreas em diferentes estágios de degradação.

Os maiores valores de labilidade da MOS (Lab) foram encontrados na área de MN nas camadas de 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, ambas na primeira coleta, chegando a 2,32 para a camada de 0,05-0,1 m (Tabela 5). Destaca-se também, em todas as camadas avaliadas, a diminuição do valor de Lab na área de PA em função do tempo de condução do estudo. Esse resultado demonstra a diminuição do aporte de MOP que esta área apresentou em função do tempo, característica essa que ressalta a diminuição da qualidade edáfica desta área, pois a relação C-MOP e C-MOM está diminuindo. A Lab representa a relação entre a MOP e a MOM, sendo considerada ótimo indicador de qualidade do solo (BENBI et al., 2015). Dentre os indicadores avaliados, apenas o índice de labilidade (ILab) da MOS não demonstrou eficiente na detecção das principais modificações na qualidade do material orgânico (Tabela 5).

De maneira geral os valores de índice de manejo de carbono (IMC) variaram de 64,18 na camada de 0,05-0,1 m na AR até 134,52 na camada de 0-0,05 m também para a AR (Tabela 5). O IMC é um indicador de qualidade do manejo de solo e permite avaliar o ganho ou perda de qualidade do solo: quanto maior o IMC, maior a sua qualidade (DIEKOW, 2005). O IMC acima de 100 é um bom indicativo quanto ao manejo do carbono das áreas, pois esse índice engloba o impacto das práticas em curto prazo ressaltando a qualidade do carbono (ILab), e também em longo prazo evidenciando aspectos quantitativos do carbono (IEC) (BLAIR et al., 1995).

Tomando como base o valor de 100 da MN, a AR apresentou nas três camadas, para a primeira coleta, valores inferiores à referência, demonstrando assim, no início do trabalho, baixa qualidade da fração orgânica do solo. Porém após 6 e 12 meses, os valores de IMC da AR foram superiores a 100, demonstrando assim, melhoria na qualidade da fração orgânica do solo. Sendo essa característica mais evidente na camada de 0-0,05 m, com valores de IMC para a AR de 87,69, 106,92 e 134,52, na primeira, segunda e terceira coleta, respectivamente, sendo diferentes entre si. A qualidade de um sistema agrícola deve ser obrigatoriamente relacionada a MOS, uma vez que esta se relaciona com a maior parte dos atributos do solo, e é determinante para o efetivo cumprimento de suas funções. A utilização do IMC é adequada, uma vez que sintetiza a situação que o solo se encontra em um determinado momento, em relação a uma situação utilizada como referência.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A prática de isolamento e plantio de espécies arbóreas nativas na área em recuperação apresenta-se como benéfica para melhoria da qualidade edáfica, principalmente no que se refere à fração orgânica do solo, com aumento nos teores de carbono orgânico total, carbono da matéria orgânica particulada, matéria orgânica mineral e seus respectivos estoques, e melhoria dos índices que avaliam a quantidade e qualidade da matéria orgânica, especialmente o índice de estoque de carbono, labilidade da matéria orgânica do solo e o índice de manejo de carbono após 12 meses de avaliação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVARO-FUENTES, J.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K. Climate change effects on organic carbon storage in agricultural soils of northeastern Spain. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 155, n. 15, p. 87-94, 2012.

AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K. R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil & Tillage Research**, v. 131, n. 7, p. 28-35, 2013.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

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.

BENITES, V. M.; MÁDARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado e de baixo custo. **Rio de Janeiro, Embrapa Solos**, 7p. (Comunicado Técnico, 16). 2003.

BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. A.; FERNANDES, S. A. P. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronosequência de floresta tropical - pastagem de Paragominas. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 4, p. 1-11, 1999.

BIELUCZYK, W.; PICCOLO, M. C.; PEREIRA, M. G.; MORAES, M. T.; SOLTANGHEISI, A.; ALBERTO BERNARDI, C. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; MOREIRA, M. Z.; CAMARGO, P. B.; DIAS, C. T. S.; BATISTA, I.; CHERUBIN, M. R. Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. **Geoderma**, v. 371, 114368, 2020.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995.

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.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. **Soil Science**, v. 166, p. 61-67, 2001.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 212 p. 1997.

CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 541-549, 2008.

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

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

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.

FERREIRA, C. R.; SILVA NETO, E. C.; PEREIRA, M. G.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C. Dynamics of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. **Soil & Tillage Research**, v. 198, p. 104533, 2020.

GILBERT, L. T. **Desenvolvimento de espécies arbóreas na recuperação de nascente em Mundo Novo – MS**. 2017. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mundo Novo, 2017.

GREGORICH, E. G.; BEARE, M. H.; MCKIM, U. F.; SKJEMSTAD, J. O. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 3, p. 975-985, 2006.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, v. 82, p. 121-145, 2005.

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.

KNOX, N. M.; GRUNWALD, S.; MCDOWELL, M. L.; BRULAND, G. L.; MYERS, D. B.; HARRIS, W. G. Modelling soil carbon fractions with visible near-infrared (VNIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy. **Geoderma**, v. 239-240, n. 2, p. 229-239, 2015.

KHORRAMDEL, S.; KOOCHEKI, A.; MAHALLATI, M. N.; KHORASANI, R.; GHORBANI, R. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. **Soil & Tillage Research**, v.133, p.25-31, 2013.

LAL, R. Soil quality and sustainability. In: LAL, R. eds. **Methods of assessment of soil degradation**. Boca Raton, CRC Press, p. 17-30, 1997.

LIER, Q. Y. Física do solo. Viçosa- MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 298, 2010.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; 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.

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.

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAINO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (eds.). *Methods for Assessing Soil Quality*. Madison: **Soil Science Society of America**, cap. 14, p. 231-246, 1996.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 731-737, 2004.

PLANTE, A. F.; FERNÁNDEZ, J. M.; HADDIX, M. L.; STEINWEG, J. M.; CONANT, R. T. Biological, chemical and thermal indices of soil organic matter stability in four grassland soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, n. 5, p. 1051-1058, 2011.

QI, Y.; DARILEK, J. L.; HUANG, B.; ZHAO, Y.; SUN, W.; GU, Z. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. **Geoderma**, v. 149, n. 3-4, p. 325-334, 2009.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos Ciência do Solo**. v. 5. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 49-134, 2007.

ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; ATANAZIO, 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, p. 2351-2366, 2014a.

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, 2014b.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Organic matter and soil aggregation in agricultural systems with different adoption times. **Semina. Ciências Agrárias**, v. 40, p. 3443-3459, 2019.

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.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B. CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; Silva, E. M.; Silveira, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1339-1348, 2011.

SANTOS; O. A. Q.; TAVARES, O. C. H.; GARCÍA, A. C.; ROSSI; C. Q.; MOURA, O. V. T.; PEREIRA, W.; PINTO, L. A. S. R.; BERBARA, R. L. L.; PEREIRA, M. G. Fire lead to disturbance on organic carbon under sugarcane cultivation but is recovered by amendment with vinasse. **Science of the Total Environment**, v. 739, 140063, 2020.

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.

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.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Alterações nas frações do carbono em um Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 28, n. 3, p. 305-311, 2006.

TROIAN, D.; ROSSET, J. S.; MARTINS, L. F. B. N.; OZÓRIO, J. M. B.; CASTILHO, S. C. P.; MARRA, L. M. 2020. Carbono orgânico e estoque de carbono do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, 1447-1469, 2020.

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.

ZHONGKUI, L.; WANG, E.; SUN, O. J. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: a review and synthesis. **Geoderma**, v. 155, n. 3-4, p. 211-223, 2010.