

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

GIOVANNA LAURA RIBEIRO MAYER

ESTOQUE DE CARBONO EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES USOS NA
REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO, MG

Uberlândia

2024

GIOVANNA LAURA RIBEIRO MAYER

**ESTOQUE DE CARBONO EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES USOS NA
REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO, MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do grau
de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof^a. Dra. Araújo Hulmann
Batista

Uberlândia

2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M468 2024	Mayer, Giovanna Laura Ribeiro, 1999- ESTOQUE DE CARBONO EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES USOS NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO, MG [recurso eletrônico] / Giovanna Laura Ribeiro Mayer. - 2024. Orientadora: Araújo Hulmann Batista. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Agronomia. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. 1. Agronomia. I. Batista, Araújo Hulmann, 1977-., (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Agronomia. III. Título. CDU: 631
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

GIOVANNA LAURA RIBEIRO MAYER

**ESTOQUE DE CARBONO EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES USOS NA
REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO, MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do grau
de Engenheira Agrônoma.

Uberlândia, 19 de abril de 2024.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Araújo Hulmann Batista
Orientadora

Hérica Leonel de Paula Ramos Oliveira
Membro da Banca

Mateus Luiz Mayer
Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha amada família e noivo pelo seu apoio incondicional e encorajamento ao longo de minha jornada acadêmica e pessoal. Suas palavras de incentivo e amor foram fundamentais para meu crescimento e sucesso.

À equipe do Núcleo de Estudos em Gênese do Solo, especialmente à estimada professora Doutora Araújo Hulmann Batista e ao Doutor Técnico do LASEM Adílio de Sá Júnior, gostaria de expressar minha sincera apreciação pela oportunidade incrível de participar do programa de Iniciação Científica e pela orientação, foram essenciais para meu desenvolvimento acadêmico e profissional, sou imensamente grata pela dedicação e apoio contínuos.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado em todos os momentos, gostaria de agradecer pelo companheirismo inabalável e pela contribuição valiosa para minha formação.

Por fim, expresso minha sincera gratidão à banca avaliadora por seu tempo dedicado e contribuições valiosas para o trabalho.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do uso do solo, em diferentes sistemas de manejo na região rural de Uberlândia-MG, nos estoques de C (EstC). Para tanto, foram considerados cinco diferentes usos de solos de mesma classe pedogenética, Latossolo, sendo: 1. Cerrado nativo; 2. Área com cultivo de grãos em sistema plantio direto; 3. vegetação nativa em solos hidromórficos – Vereda; 4. Latossolo com grãos em sistema cultivo convencional; 5. Latossolo com culturas diversas em área de pivô de irrigação. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 5 x 7, sendo cinco sistemas de cultivo e sete profundidades, e distribuídos em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Em cada sistema de cultivo, quatro trincheiras (para possibilitar a repetição e obtenção dos valores médios de cada área) de 60 cm de profundidade foram abertas para coleta de amostras de solo nas diferentes camadas: 0-5, 5 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 40, 40 – 50 e 50 – 60 cm. Além das coletas de amostras deformadas, foram tomadas amostras indeformadas para determinação da densidade aparente do solo e cálculo do EstC. Estas amostras foram coletadas em três profundidades sendo: 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Os teores de C-orgânico total dos solos (COT) foram obtidos por digestão via úmida das amostras com dicromato de Na (sódio) e dosagem por espectrofotometria. Os dados foram submetidos à análise de variância para verificar o efeito dos sistemas de manejo ($p \leq 0,05$), sendo as médias comparadas por meio do teste Scott Knott ($p \leq 0,05$). Como esperado, nas amostras da área de solo hidromórfico o EstC foi superior aos outros sistemas de cultivo, principalmente na camada de 40-60 cm. Já na camada de 20 – 40 cm o EstC foi equivalente ao encontrado no sistema irrigado. A preservação das Veredas é essencial não apenas para manter a biodiversidade local, mas também para estabilizar o clima global. Os valores de COT foram superiores nas camadas mais superficiais e não se diferiram estatisticamente entre as áreas de cerrado nativo e os demais sistemas de cultivo.

Palavras-Chave: Matéria Orgânica; Carbono Orgânico Total; Uso do Solo; Qualidade do Solo.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of land use in different management systems in the rural region of Uberlândia-MG on C stocks (EstC). Five different uses of soils of the same pedogenetic class, Oxisols, were considered: 1. Native Cerrado; 2. Area with grain cultivation in a no-till system; 3. Native vegetation in hydromorphic soils - Vereda; 4. Oxisols with grain in a conventional cultivation system; 5. Oxisols with various crops in an irrigated area (pivot). The treatments were arranged in a 5 x 7 factorial scheme, with five cropping systems and seven depths, and distributed in a completely casualized design with four replications. In each cropping system, four 60 cm deep trenches were opened to collect soil samples from the different layers: 0-5, 5 - 10, 10 - 20, 20 - 30, 30 - 40, 40 - 50 and 50 - 60 cm. In addition to the deformed samples, undeformed samples were taken to determine the apparent density of the soil and calculate the EstC. These samples were taken at three depths: 0-20, 20-40 and 40-60 cm. The soil's total organic carbon content (TOC) was obtained by wet digestion of the samples with Na dichromate and measured by spectrophotometry. The data was subjected to analysis of variance to verify the effect of the management systems ($p \leq 0.05$), with the averages being compared to the mean values. As expected, the hydromorphic soil samples estimated carbon outputs were bigger than all the other cultivated systems, mainly in the 40-60 cm range. The COT values were higher at the depths closer to the surface, and didn't differentiate statically between areas of native Cerrado and the other systems.

Keywords: Organic Matter; Total Organic Carbon; Land Use; Soil Quality.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
2 MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1 Determinação do estoque de carbono	18
2.2 Análise estatística.....	20
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
3.1 Carbono orgânico total	21
3.2 Estoque de carbono	25
3.2.3 Estoque de carbono em solos hidromórficos e Latossolos	29
4 CONCLUSÕES.....	31

1 INTRODUÇÃO

Alterações antrópicas de ecossistemas naturais, como em áreas cultivadas, podem comprometer as funções ambientais do solo, afetando sua qualidade física, química e biológica. Estas mudanças podem impactar na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), com potenciais implicações no aporte e perdas deste importante recurso. O Brasil, reconhecido mundialmente por sua capacidade produtiva, deve grande parte de sua produtividade agrícola à qualidade de seus solos, especialmente os Latossolos, que ocupam cerca de 39% do território nacional (EMBRAPA, 2018). Estes solos se destacam em termos de qualidade física, pois em geral possuem elevada profundidade, são muito porosos, bem drenados. A elevada presença de óxidos na fração argila desses solos confere a estes estrutura granular bem desenvolvida (KER, 1997). Entretanto, são evidenciados pelas limitações químicas para o cultivo agrícola, como elevada acidez, toxidez por Al^{3+} , baixa saturação por bases e baixos teores disponíveis de nutrientes e matéria orgânica. Todavia, essas limitações são superadas por práticas como calagem, gessagem e adubação (SOUZA, 2009).

No Cerrado, bioma que apresenta aproximadamente 24% do território brasileiro (IBGE, 2004), a expansão agrícola tem sido intensa, impulsionada pela busca por elevadas produtividades. Áreas de relevo plano a suave ondulado, dominadas pelos Latossolos, têm sido particularmente visadas, levando a um desmatamento acelerado e alterações substanciais nas características naturais dos solos. Estudos sugerem que metade do Cerrado sofreu desmatamento, com consequências duradouras e muitas vezes irreparáveis para a diversidade biológica e integridade dos solos. Processos como compactação do solo e erosão são frequentemente observados, resultando em perdas expressivas de solo. De fato, em curto espaço de tempo, entre agosto de 2022 e julho de 2023 o Cerrado perdeu 11.011 km² de vegetação nativa (MACHADO, 2016). Neste sentido, a degradação do solo, incluindo desmatamento, compactação e erosão, pode resultar em perdas significativas, ameaçando a sustentabilidade agrícola.

A gestão adequada do solo é fundamental para a mitigação das mudanças climáticas globais, pois influencia diretamente os estoques de carbono, que desempenham um papel crucial nesse processo. Este manejo afeta uma série de atributos do solo, incluindo aspectos químicos, físicos e biológicos. Práticas como fertilização química, compactação do solo e uso de pesticidas de forma inadequada podem diminuir a capacidade de retenção de carbono, enquanto técnicas conservacionistas, como plantio direto e adição de matéria orgânica, podem melhorar a estrutura do solo e promover a atividade biológica, aumentando os estoques de solo carbono, os efeitos do manejo do solo sobre esses atributos é essencial para desenvolver

estratégias de mitigação das mudanças climáticas (MACHADO, 2005). As práticas agrícolas podem diminuir os EstC (Estoque de Carbono), a depender do manejo adotado, ressaltando a importância do uso do solo e seu sistema de manejo.

O uso destes solos para exploração agrícola, apesar do inegável efeito positivo na expressão econômica do país no mercado internacional, leva a alterações importantes nas suas características ambientais. As práticas agrícolas alteram a dinâmica da decomposição/estoque da matéria orgânica do solo pela alteração da vegetação, organismos e expondo o solo às ações intempéricas. Ressalta-se, entretanto, que de acordo com o manejo adotado nos cultivos, as alterações podem melhorar a qualidade dos solos e aumentar o EstC em relação às áreas de mata nativa, especialmente em biomas como o Cerrado, onde os valores de COT (Carbono Orgânico Total) são baixos. Destaca-se que, em média, a MOS contém mais de 50% do C das áreas continentais, além de ser uma das maiores fontes de energia para os microrganismos e de nutrientes como N, P, S entre outros, para as plantas. O COT no solo pode ser encontrado principalmente em estruturas orgânicas de seres vivos, em resíduos de animais e plantas e como compostos polimerizados de maior estabilidade (TEIXEIRA et al., 2017).

Apesar dos valores médios não serem tão expressivos, a presença de C (Carbono) nos solos das regiões tropicais é notavelmente alta, resultado da elevada profundidade dos horizontes desses solos e das interações das frações orgânicas com a fase mineral do solo – argilas, silte e areia. Essas interações organominerais têm sido bem documentadas na literatura científica. Estudos indicam que os solos de regiões tropicais podem servir como depósito de C, o que pode reduzir o efeito estufa (GUARESCHI et al., 2013). A profundidade dos solos tropicais proporciona uma ampla área de armazenamento para o CO (Carbono Orgânico), que pode ser incorporado às camadas mais profundas do solo ao longo de períodos prolongados. Além disso, a capacidade desses solos de reter C está intimamente relacionada à sua composição mineralógica e à presença de matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição, com a promoção da estabilização do C, impedindo sua rápida liberação na atmosfera. Ao armazenar o carbono orgânico, esses solos ajudam a reduzir a quantidade de CO₂ (Dióxido de Carbono) na atmosfera, contribuindo para o equilíbrio do ciclo global do carbono e minimizando os impactos do aquecimento global.

É crucial reconhecer que as atividades humanas, como o desmatamento e o manejo inadequado do solo, podem comprometer a capacidade dos solos tropicais de reter C. Os organismos têm sua atividade aumentada com a exposição, promovendo a mineralização da matéria orgânica e emissão de grandes quantidades de CO₂, antes armazenado na biomassa vegetal e no solo, o tempo de meia-vida do carbono no solo em regiões de clima tropical pode

variar consideravelmente dependendo de uma série de fatores, incluindo tipo de solo, vegetação, manejo agrícola, clima e práticas de manejo do solo, uma estimativa comum para o tempo de meia-vida do carbono em solos tropicais é de aproximadamente 10 a 20 anos (JANSSENS, 2002). Portanto, a conservação e o manejo sustentável dos solos tropicais são fundamentais para garantir a preservação desse importante serviço ecossistêmico e para enfrentar os desafios das mudanças climáticas globais. Assim, conhecer o EstC e sua dinâmica na região do Cerrado é de suma importância para o desenvolvimento e adoção de tecnologias e mitigação do efeito deletério dos gases do efeito estufa (CORAZZA et al., 1999).

Os solos hidromórficos desempenham um papel crucial no armazenamento de carbono devido às suas características únicas e às condições ambientais em que se desenvolvem. Esses solos, comumente encontrados em áreas úmidas, como pântanos, brejos e manguezais, possuem altos teores de matéria orgânica devido à baixa oxigenação do solo, ou que desacelera o processo de degradação da matéria orgânica. Como resultado, esses solos podem acumular grandes quantidades de carbono ao longo do tempo, contribuindo significativamente para os estoques de carbono globais. Além disso, os solos hidromórficos desempenham um papel fundamental na regulação do ciclo hidrológico, na melhoria da qualidade da água e na proteção contra inundações, destacando ainda mais a sua importância ecológica. Portanto, conservar e gerenciar a melhoria dos solos hidromórficos é essencial para a mitigação das mudanças climáticas globais, além de promover a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos associados a esses ambientes únicos (MITSCH et al., 2015).

Considerando a importância de entender as alterações ocorridas no EstC em função de diferentes sistemas de cultivo, se propôs a realização desta pesquisa, tendo como objeto de estudo os Latossolos em uma propriedade agrícola na região rural do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais.

1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O trabalho tem como objetivo principal realizar uma avaliação das alterações no teor de carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono do solo (EstC) em Latossolos na região do Triângulo Mineiro, MG.

Para se chegar ao objetivo geral principal foram necessárias algumas avaliações, as quais são:

- Determinar o COT dos solos até 60 cm de profundidade em diferentes sistemas de cultivo em Latossolos;
- Determinar o EstC dos solos até 60 cm de profundidade em diferentes sistemas de cultivo em Latossolos e solo hidromórfico em área de preservação permanente;

1.2 JUSTIFICATIVA

A introdução do novo Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/12) em 2012 marcou uma mudança significativa na gestão ambiental, especialmente no que se refere às Áreas de Preservação Permanente (APPs) e à integração destas com as Reservas Legais (RL) em propriedades rurais. Este marco legal destaca a importância das Veredas, reconhecidas como APPs, na conservação da biodiversidade, na proteção dos recursos hídricos e na estabilidade dos ecossistemas. No entanto, a legislação existente pode não ser suficientemente abrangente para proteger ecossistemas em solos como os Latossolos do Cerrado, que, apesar de sua resiliência e aptidão agrícola, estão sob constante ameaça de desmatamento e degradação devido às práticas agrícolas intensivas.

Neste contexto, o presente estudo visa abordar uma lacuna crítica na compreensão dos impactos de diferentes práticas de uso da terra em Latossolos, com foco particular nos estoques de carbono. A escolha de incluir amostras de solos hidromórficos de Veredas, além de Latossolos sob diversos usos, permite uma comparação abrangente que destaca as diferenças significativas em termos de qualidade do solo e capacidade de sequestro de carbono entre esses dois tipos de ecossistemas. Tal comparação é crucial para informar políticas de manejo sustentável e práticas de conservação que se alinhem, tanto com os objetivos locais de preservação da biodiversidade e dos recursos hídricos, quanto com as metas globais de mitigação das mudanças climáticas.

Portanto, os resultados deste trabalho não apenas podem contribuir para o entendimento científico das interações solo-uso da terra no Cerrado, mas também poderão colaborar para o aprimoramento das estratégias de gestão ambiental e conservação em um contexto mais amplo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma propriedade agrícola na região rural de Uberlândia - MG, em área de Latossolo com distintos usos e área de solo hidromórfico. Nesta propriedade, uma área de vegetação nativa em solos profundos permanece preservada, conforme avaliado pela evolução do desmatamento observada pelo site Mapbiomas (2021) e em visita à área.

Distintos usos do solo e sistemas de cultivo foram considerados como tratamentos, o que derivou em cinco tratamentos, sendo: T1. Latossolo com cerrado nativo (CN); T2. Latossolo com culturas anuais no sistema plantio direto (SPD); T3. solos hidromórficos destinados à reserva legal da propriedade, Vereda; T4. Latossolo com sistema plantio convencional (SPC); T5. Latossolo com cultivo de grãos em sistema irrigado (SI).

As áreas foram demarcadas através do uso de imagens de satélites por meio do *Software* QGIS 3.10.9 with GRASS 7.8.3. Depois de selecionadas, quatro pontos de coleta foram escolhidos para realizar as repetições em cada sistema de cultivo, estipulados de acordo com a distribuição das parcelas experimentais no campo, cada uma delimitada em conformidade com a homogeneidade das características de solo e relevo, conforme demonstrados na Figura 1. A coleta de solo foi realizada no mês de fevereiro de 2022, e em todas as áreas a colheita havia sido concluída recentemente. As amostras indeformadas foram coletadas nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, por meio de anel de Kopeck para obtenção da densidade aparente (CLAESSEN et al., 1997). Consecutivamente, foram retiradas amostras deformadas nas profundidades 0-5, 5 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 40, 40 – 50 e 50 – 60 cm; para avaliação do teor de matéria orgânica, analisando-se o carbono orgânico total (COT), para posterior determinação do estoque de carbono (EstC) (BENITES et al., 2003).



Figura 1 – Localização do município de Uberlândia e área do estudo, com os pontos amostrais georreferenciados (A). Pontos 1, 2, 3 e 4 - Cerrado Nativo; Pontos 5, 6, 7 e 8 - Pivô de Irrigação; Pontos 9, 10, 11 e 12 - Plantio direto; Pontos 13, 14, 15 e 16 – Vereda; Pontos 17, 18, 19 e 20 Plantio Convencional. Mapa produzido com Google Maps e Qgis.

2.1 Determinação do estoque de carbono

A determinação do Estoque de Carbono (Est C) foi realizada seguindo a equação 1:

Equação 1:
$$est\ C = \frac{CO * D_s * e}{10}$$

Onde:

est C = Estoque de carbono na camada (Mg. ha⁻¹);

CO = Teor de carbono orgânico na camada (g.kg⁻¹);

D_s = Densidade do solo na profundidade amostrada (kg.dm⁻³);

e = Espessura da camada estudada (cm)

Para isto, a determinação da D_s e análise do CO seguiram a metodologia descrita por CLAESSEN et al., (1997) e QUAGGIO et al., (1979), respectivamente. Para a obtenção da densidade aparente do solo (D_s), amostras indeformadas de solo foram dispostas em placas de Petri. Em seguida, foram colocadas em estufa, a temperatura de 105 °C, até obtenção de massa constante, após, foram transpostas a um dessecador de vidro para estabilizar a temperatura com

a do ambiente e obter a massa final do solo em balança analítica. A determinação da D_s foi realizada a partir da equação 2:

Equação 2:
$$D_s = \frac{M_{s+p} - M_p}{V_a}$$

Onde:

D_s = Densidade aparente do solo (g.cm^{-3});

M_{s+p} = Massa de solo + massa da placa de Petri (g);

M_p = Massa da placa de Petri (g);

V_a = Volume do anel volumétrico

A determinação do COT foi realizada por meio da oxidação da matéria orgânica por íons dicromato sem aquecimento, seguindo o método de Walkley & Black modificado (QUAGGIO et al., 1979). O teor de COT é mensurado por espectrofotometria em função da formação de íons Cr^{3+} no processo de oxidação de carbono. Previamente à análise, as amostras foram passadas em peneira de 10 mesh (malha de abertura de 2 mm), para retirar estruturas com granulometria superior a areia grossa. Após peneiradas, retirou-se de cada amostra o volume de 1 cm^3 de solo, dispondo-as em recipientes plásticos.

Como passo seguinte, as amostras de solo receberam uma alíquota de 10 ml de solução sulfocrômica, composta de dicromato de sódio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) em meio ácido, com uso do ácido sulfúrico (H_2SO_4), e dispostas em agitador por 15 min. Após a agitação, as amostras foram diluídas em 50 ml de água destilada e deixadas em repouso por 24 horas. Após esse período, coletou-se alíquotas de 10 ml das soluções e elas foram lidas em espectrofotômetro a 650 nm, para determinação de transmitância.

Com os dados de transmitância, obtidos pela espectrofotometria, pode-se determinar as absorvâncias das amostras pela equação 3:

Equação 3:
$$A = 2 - \log(t)$$

Onde:

A = Absorvância (u.a.);

t = Transmitância (%)

A partir dos dados de absorvância adquiridos foi possível determinar os valores da matéria orgânica por quilograma de solo, utilizando a equação 4:

$$\text{Equação 4} \quad MO = \frac{A+0,0136}{0,0729}$$

Onde:

MO = Matéria orgânica (dag.kg⁻¹);

A = Absorvância (u.a)

Finalmente, os valores de MO foram convertidos a valores de CO presentes por kg de solo, pela equação 5:

$$\text{Equação 5:} \quad CO = \frac{MO.*10}{1,72}$$

Onde:

CO = Carbono orgânico (g.kg⁻¹);

MO = Matéria orgânica (dag.kg⁻¹)

Em função da toxicidade dos resíduos produzidos durante a determinação do CO no solo, após a análise, as amostras utilizadas foram dispostas em recipiente dedicado para a eliminação destes materiais, visando realizar o descarte apropriado.

2.2 Análise estatística

Para avaliar os resultados de EstC foi adotado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial considerando cinco tratamentos (uso do solo), sete profundidades e quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade. Para análise de dados foi utilizado o programa SISVAR. O mesmo procedimento foi realizado para avaliar as diferenças nos teores de COT, porém, para esta variável, não foram incluídos os resultados dos solos coletados na área de Vereda. Isto porquê, esta área não está sob uso e levaria a grande desvio padrão e coeficiente de variação, não elucidando os efeitos do uso para este atributo, estes dados na área de Vereda foram usados para determinar o teor de EstC.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Carbono orgânico total

Os resultados da ANOVA indicam que há diferenças significativas no teor de COT entre os sistemas de cultivo e entre profundidades, porém, sem interação entre os dois fatores para a variável (Tabela 1). O estudo mostra que tanto os sistemas de cultivo quanto a profundidade do solo coletado têm impactos importantes no teor de carbono do solo.

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) do teor de carbono total nos diferentes sistemas de cultivo e profundidade.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	3	66,738431	22,246144	10,528	0,0000
Profundidade	6	761,443618	126,907270	60,057	0,0000
Trat*Prof	18	43,358775	2,408821	1,140	0,3304
Erro	84	177,502775	2,113128		
Total corrigido	111	1149,043599			
CV%	19,06				
Média geral	7,6263393	Número de observações	112		

*FV – fator de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma dos quadrados; QM – quadrados médios, Fc – estatística F calculada; Pr>Fc – probabilidade. Significativo quando p valor $\leq$ 0,05.

Os resultados médios de carbono orgânico total nos diferentes sistemas de cultivo e profundidades se encontram na Figura 2. Como era esperado, são superiores na área de SPD, visto que os restos culturais que permanecem na superfície do solo após a colheita, retêm maior umidade no solo e aumentam os teores de matéria orgânica. Apesar da expectativa de maiores teores de COT no SPD, não era esperado que estes fossem significativamente superiores aos valores encontrados na mata nativa. Por outro lado, o Cerrado é um ecossistema natural com baixos teores de matéria orgânica, resultado de matas de menor densidade e atividade biológica mais intensa, favorecida pelo clima quente e chuvas intensas, o que acelera a decomposição. O déficit de saturação de carbono no solo é uma métrica que indica a quantidade de carbono

orgânico presente no solo em comparação com sua capacidade máxima de retenção desse carbono. O carbono no solo desempenha um papel fundamental na fertilidade do solo, na saúde das plantas e na mitigação das mudanças climáticas, pois influencia a estrutura do solo, a disponibilidade de nutrientes e a manutenção de água (BRIEDIS et al., 2012).

Os resultados mostram que, em algumas profundidades, os teores de carbono orgânico total em Cerrado Nativo foram menores em relação aos outros sistemas de cultivo (5- 10cm e 10 – 20 cm). Estes resultados não eram esperados, principalmente quando comparado com o Sistema Convencional de Cultivo, onde o solo sob mata nativa apresentou, na profundidade 10 – 20 cm, 7,3 g/kg em contraposição a 8,7 g/kg no sistema convencional de cultivo. Uma explicação para este resultado, é o fato de que a área de cultivo convencional ficou sob SPD por aproximadamente cinco safras, e conforme relatado pelo produtor, transformada em sistema convencional na safra 2020/2021.

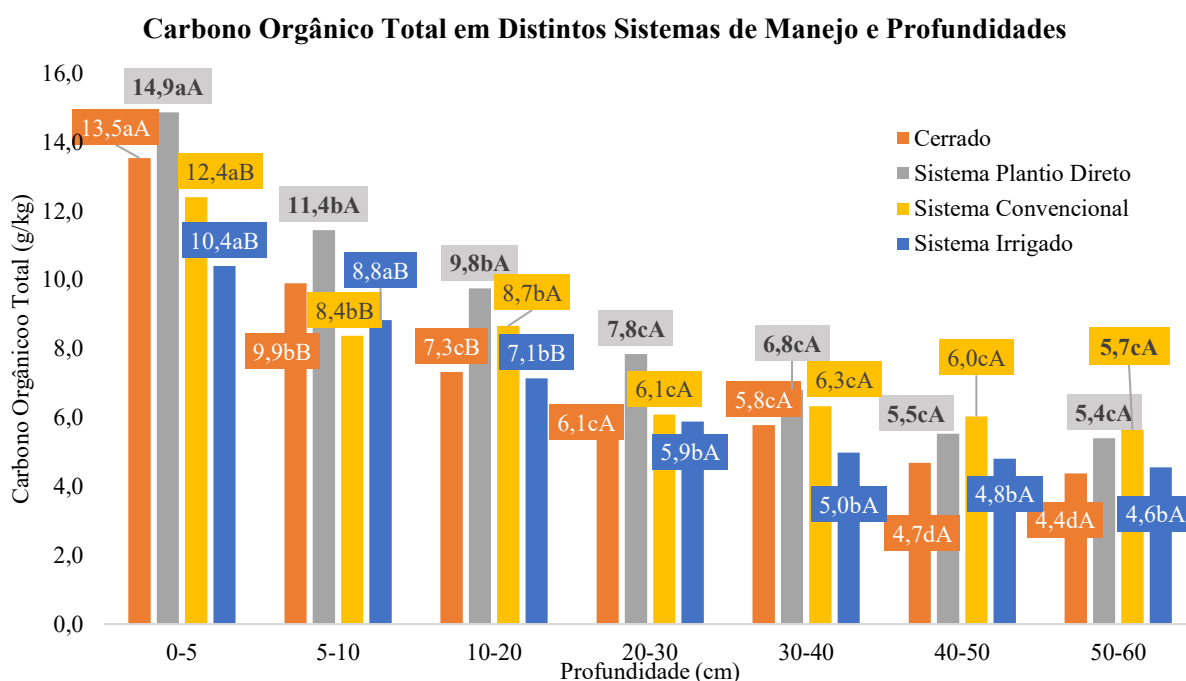


Figura 2. Teores médios carbono orgânico total (COT) nos solos em quatro diferentes sistemas de cultivo e sete profundidades. *Teste de agrupamento de médias Scott-Knott, Letras minúsculas comparam as diferentes profundidades no mesmo sistema de cultivo e Letras maiúsculas comparam diferentes sistemas de cultivo na mesma profundidade (probabilidade de 5%).

Como já discutido anteriormente, Latossolos em Cerrado, em geral, possuem baixos teores de C, com valores médios menores que 1% (NETO, 2009). Isto não é considerado um

problema, uma vez que a vegetação do cerrado é adaptada às condições do solo e clima da região, resultando em uma taxa de decomposição da matéria orgânica mais rápida e uma liberação mais eficiente de nutrientes para as plantas (RIBEIRO et al., 2023). Isso resulta em um ciclo contínuo de matéria orgânica sendo incorporada e decomposta no solo, levando a menores teores de carbono orgânico em comparação com sistemas agrícolas onde a matéria orgânica é frequentemente adicionada e protegida, como é o caso do sistema plantio direto. Em contrapartida, em áreas de cultivo convencional práticas de aração e gradagem perturbam o solo e aceleraram a decomposição da matéria orgânica, liberando o carbono para a atmosfera na forma de CO₂ (SIMON, 2019).

Apesar de ser característico dos solos de cerrado, os baixos teores de COT, a conversão do cerrado nativo para agricultura envolve a remoção da vegetação natural, resultando na perda imediata de biomassa, diminuindo ainda mais o carbono orgânico, mesmo que parte dessa vegetação seja incorporada ao solo durante o processo de conversão. Em áreas cultivadas com espécies florestais como o eucalipto, foram observados incremento de COT em relação à mata nativa no primeiro metro de profundidade do solo. No entanto, uma perda significativa de carbono no solo, equivalente a 18% (28,43 t/ha), foi observada devido ao uso alternativo, onde uma área natural semelhante foi convertida em agricultura, principalmente lavoura de soja, e posteriormente transformada em plantio de eucalipto de seis anos. Destaca-se que estudos científicos indicam uma diminuição nos níveis de carbono nos primeiros anos de conversão da vegetação natural para outros tipos de uso do solo, como lavouras de grãos. Durante esse período, uma parcela considerável do carbono do solo, anteriormente protegida fisicamente em agregados estáveis, é rapidamente oxidada, resultando em mineralização e perda para a atmosfera na forma de CO₂. Em relação ao armazenamento total de carbono, as raízes tiveram uma contribuição menor, totalizando 4,9 t/ha na área com eucalipto de quatro anos, 1,9 t/ha no eucalipto de seis anos e 3,1 t/ha no Cerrado nativo, considerando uma profundidade de 0 a 60 cm. Isso representa, respectivamente, 2,16%, 0,88% e 1,68% do carbono total (RIBEIRO et al., 2023).

Os resultados de COT em sistema plantio direto foram maiores em todas as profundidades, enquanto o sistema irrigado apresentou as menores médias. O uso intensivo do solo nestas áreas, com mais de três cultivos anuais, aliado à umidade constante, aumenta a atividade microbiana e acelera a decomposição da matéria orgânica. A umidade do solo é um fator crítico que influencia a taxa de decomposição microbiana. Com mais água disponível, os microrganismos têm condições mais favoráveis para decompor a matéria orgânica, resultando em uma diminuição dos estoques de carbono no solo (CARDOSO et al., 2016). Sistemas

irrigados possuem outro fator para a perda da matéria orgânica que diz respeito aos processos erosivos. O manejo intensivo do solo em sistemas irrigados pode perturbar o equilíbrio do solo. Como não foram testados parâmetros físicos do solo que comprovem processos erosivos, esta hipótese é apenas especulativa. Porém, é conhecido o efeito da erosão, especialmente nas camadas superficiais, onde a maior parte da matéria orgânica está concentrada (ROSSET et al., 2014).

O sistema plantio direto é, entre os sistemas de cultivo, o mais eficaz na manutenção e no aumento dos teores de carbono orgânico no solo. Há a preservação da matéria orgânica pela menor perturbação do solo, além de maior aporte devido à manutenção dos restos culturais. Os benefícios são bem elucidados pela literatura como: aumento da biomassa microbiana, melhoria da estrutura do solo, melhora da fertilidade, aumento da capacidade de troca de cátions, aporte de nutrientes como nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre, entre outros (BATISTA, 2018). Os resultados confirmam, portanto, que o sistema plantio direto promove aumento da matéria orgânica mais estabilizada, uma vez que isso pode ser observado em todas as profundidades do solo.

Em relação à distribuição do carbono no solo, a variação em profundidade é influenciada ainda por fatores como a taxa de decomposição da matéria orgânica e a atividade biológica nas diferentes camadas. Portanto, os resultados destacam a importância de considerar não apenas as diferenças entre sistemas de cultivo, mas também as variações verticais no teor de carbono orgânico ao avaliar a saúde e a qualidade do solo (Figura 2).

Os sistemas de cultivo podem ter impactos diferenciados na distribuição e estabilidade do carbono orgânico em diferentes profundidades, o que tem implicações importantes para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e para a capacidade do solo de mitigar as mudanças climáticas.

3.2 Estoque de carbono

Os resultados da análise de variância de EstC nos diferentes usos do solo e profundidades encontram-se na Tabela 2. Houve diferença significativa para EstC entre os usos do solo ($F=9,915$, $p<0,0001$) e profundidade ($F=2,957$ e $p=0,0104$). Todavia, não houve interação significativa entre os sistemas de cultivo e as distintas profundidades, indicando que os fatores estudados não foram influenciados um pelo outro.

Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) para avaliação do estoque de carbono nos diferentes sistemas de cultivo (tratamento) e profundidades.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	6063,154	1515,789	9,915	0,0000
Profundidade	6	2712,792	452,132	2,957	0,0104
Trat * Prof	24	4771,223	198,801	1,300	0,1824
Erro	105	16052,194	152,878		

Total corrigido	139	29599,363			
CV (%)	39,38				
Média Geral	31,39	Número de			
		observações		140	

FV- Fator de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma dos quadrados; QM – quadrado médio; Fc – teste F; Pr>Fc – p-valor; CV – coeficiente de variação. Resultados considerados significativos para $p\text{-valor}<0,05$.

O EstC foi superior nas profundidades 2, 4, 5 e 7, indiferente ao uso do solo, entretanto, quando são comparados os diferentes ambientes, os maiores EstC foram obtidos nas áreas de Veredas (Figuras 3 e 4). Solos originados a partir de processos hidromórficos possuem acúmulo de carbono, levando, inclusive, à formação de horizontes hísticos ($COT \geq 8\%$), o que foi observado nas áreas de Veredas do presente trabalho. O desdobramento da presença dos solos hidromórficos em Veredas, faz com que estas desempenhem um papel crucial na retenção e distribuição natural da água nos ecossistemas. Além disso, os EstC nestes solos são muito relevantes, como pode ser observado a partir dos resultados do presente trabalho. Estudos mostram que o avanço da antropização ao redor destas APPs torna urgente a adoção de mecanismos de proteção destas áreas, uma vez que alterações significativas têm sido notadas, como menores teores de carbono, alteração nas espécies e na distribuição da cobertura vegetal,

entre outros (FONSECA et al., 2018). As Veredas, são áreas úmidas com presença de solos hidromórficos e representam verdadeiros reservatórios COT. Através dos resultados obtidos, torna-se evidente que esses ambientes possuem uma capacidade vantajosa de armazenamento de carbono quando comparados aos solos do tipo Latossolo. Essa disparidade ressalta a relevância das áreas úmidas naturais na mitigação das mudanças climáticas, pois são capazes de reter quantidades significativas de carbono, contribuindo assim para a redução da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Destaca-se que o teor de carbono estocado nas Veredas não é apenas influenciado pela vegetação presente, mas pela dinâmica hidrológica desses ecossistemas. A quantidade de carbono armazenado está diretamente relacionada à intensidade de drenagem e ao fluxo de água para o interior das Veredas, fatores que, por sua vez, são afetados pelas práticas de utilização e manejo das áreas circundantes. Em ambientes com algum grau de degradação, onde há menor presença de água, ocorre uma alteração na microbiota do solo, o que pode acelerar a decomposição da matéria orgânica. Anteriormente preservada pela presença constante ou intermitente do lençol freático, a matéria orgânica torna-se mais suscetível à decomposição. Esse processo resulta em uma redução significativa do volume de matéria orgânica nos solos das Veredas, levando ao aumento da densidade aparente e ao desenvolvimento de estruturas maciças que repelem a água. Quando esses solos ficam secos, tornam-se hidrofóbicos, o que significa que têm dificuldade em recuperar os níveis de umidade anteriores. Esse fenômeno intensifica ainda mais as perdas de carbono e os processos erosivos, exacerbando os impactos negativos da degradação ambiental sobre esses ecossistemas frágeis (SANTOS et al., 2020). Essas considerações ressaltam a importância não apenas da conservação direta das Veredas, mas também da implementação de práticas sustentáveis de manejo do solo em suas áreas circundantes. A gestão adequada dessas áreas pode ajudar a manter a dinâmica hidrológica natural das Veredas e a preservar seu papel crucial como reservatórios de carbono e biodiversidade, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental e o bem-estar das comunidades que dependem desses ecossistemas.

Considerando o estoque médio de carbono nas diferentes profundidades (Figura 3) a diminuição do EstC na camada superficial do solo (0 – 5; 10 – 20 cm), em contradição com o padrão comum de acumulação de C em profundidade, é um fenômeno intrigante que pode ser atribuído a diversos fatores, tais como práticas agrícolas intensivas, mudanças no uso da terra, processos de degradação do solo e variações locais. Esta anomalia desafia a suposição geral de que os solos acumulam mais carbono em superfície. Uma pesquisa significativa sobre esse fenômeno pode ser encontrada em um estudo de ZHAO et al., (2013) onde os autores examinam

solos em várias partes dos Estados Unidos. Os resultados mostram que em certas áreas, o EstC era menor em superfície, em virtude de atividades antrópicas como agricultura, especialmente em áreas com a remoção dos resíduos da superfície, reduzindo assim a presença de C aportado.

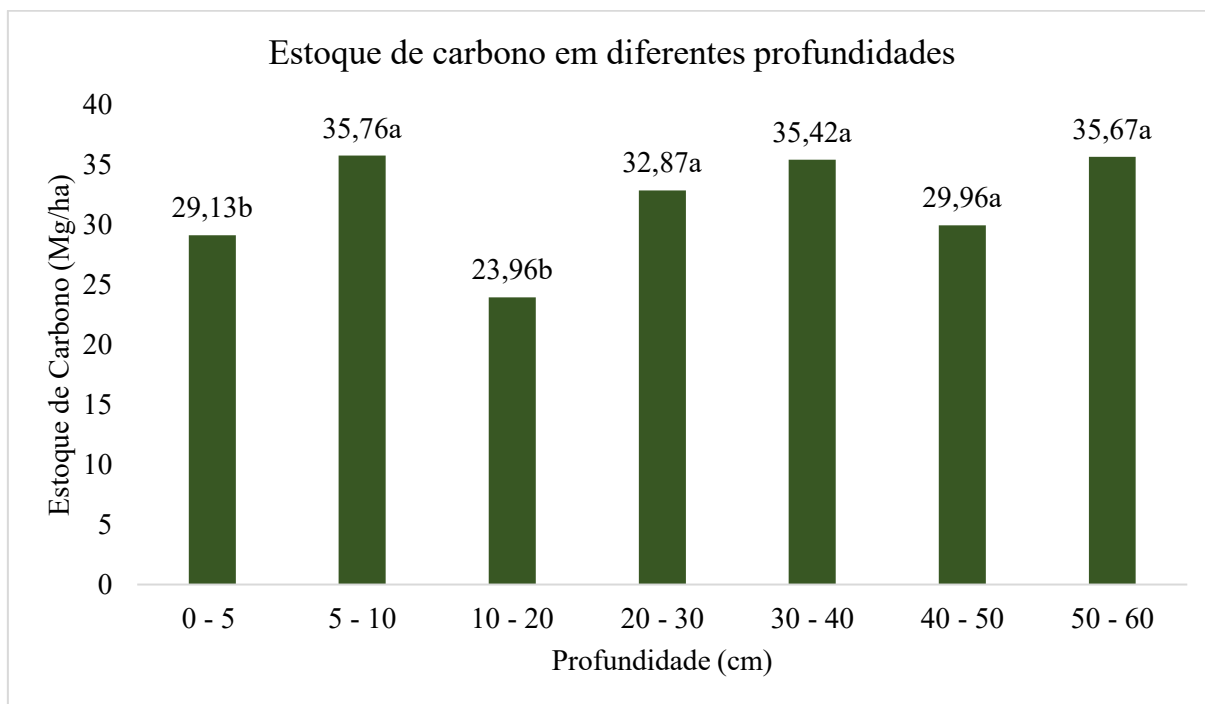


Figura 3. Estoque de carbono em diferentes profundidades, valores médios de todos os tratamentos. Teste de médias por Scott-Knot a 5% de probabilidade.

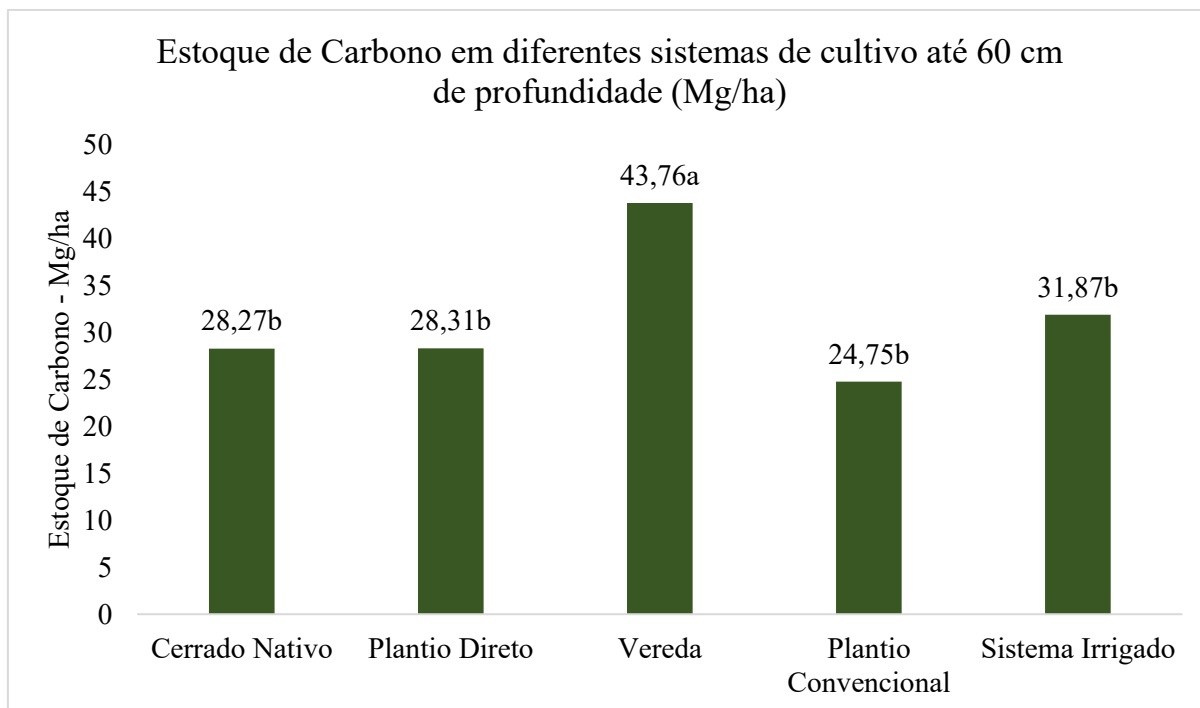


Figura 4. Estoque de carbono em diferentes sistemas de cultivo, valores médios até a profundidade de 60 cm. Teste de médias por Scott-Knot a 5% de probabilidade.

Quando se avaliam as médias de forma independente, foram observadas diferenças nos EstC nas diferentes profundidades apenas para as áreas de Vereda e Sistema Irrigado (Tabela 2). Nesta última área, houve diferença significativa nas profundidades de 20 – 30 cm e de 30 – 40 cm, esta última profundidade com valores iguais à Vereda, sendo superior aos demais tratamentos. Apesar do uso intensivo do solo nesta área, é importante considerar que durante todo o ano, o solo se encontra coberto com alguma cultura, o que pode promover incremento da matéria orgânica em relação aos outros usos. Como os resultados foram melhores em relação ao sistema plantio direto em subsuperfície, há a possibilidade de que a maior mobilidade de ácidos húmicos e fúlvicos - matéria orgânica de menor estabilidade em relação à humina - seja resultado dos cultivos sucessivos ao longo do ano (com aporte de matéria orgânica de menor complexidade). Em estudo da dinâmica de carbono em solos sob sistema irrigado, BONA et al. (2006) concluíram que houve aumento em até 19% na taxa de decomposição da matéria orgânica, diminuindo o seu teor em superfície, mas possibilitando o aumento nas camadas mais profundas do solo.

3.2.3 Estoque de carbono em solos hidromórficos e Latossolos

O maior acúmulo de C nos solos das Veredas, onde o incremento foi quase o dobro em relação aos outros usos do solo e profundidades na camada de 50 – 60 cm, levanta duas hipóteses, i. influência das atividades antrópicas na cobertura vegetal, com maiores perdas nas regiões mais superficiais do solo; ii. aumento do tempo de permanência da água em profundidade, levando a maiores acúmulos de carbono, típico destes ambientes, que contam com a presença de horizontes orgânicos quanto mais próximos às cotas altimétricas mais baixas do relevo. As áreas de solos hidromórficos são ambientes anóxicos cujo lençol freático flutua durante as estações do ano, deixando as regiões mais superficiais com menor presença de umidade nas estações secas. Isso leva a desuniformidade na preservação e humificação da matéria orgânica.

Ao investigar o teor de carbono no solo (EstC), é fundamental não apenas analisar os valores absolutos, mas também considerar as peculiaridades dos ecossistemas locais. Estes ecossistemas desempenham um papel crucial na regulação do ciclo do carbono, atuando como importantes reservatórios desse elemento vital. Reconhecer a importância das Veredas não só contribui para uma compreensão mais abrangente da dinâmica do carbono no solo, mas também orienta o desenvolvimento de políticas e práticas de gestão ambiental mais eficazes e sustentáveis. Ao entender como o carbono é armazenado e mobilizado nas Veredas, torna-se possível implementar estratégias de manejo que promovam não apenas o sequestro de carbono, mas também a preservação da diversidade e da integridade desses ecossistemas.

Ao considerar o EstC no solo das Veredas, não é apenas quantificando um parâmetro ambiental, mas também reconhecida a importância desses ecossistemas como parte integrante do sistema terrestre global. Essa conscientização pode orientar a tomada de decisões e a implementação de medidas de conservação que promovam a sustentabilidade a longo prazo, garantindo que as Veredas, e outras áreas úmidas, continuem a desempenhar seu papel vital na saúde do planeta e no bem-estar das comunidades que delas dependem.

Com comportamento muito distinto da Vereda, os resultados de EstC obtidos para os Latossolos não apresentaram diferenciação em função do uso nem em profundidade. Solos profundos em regiões tropicais, caracterizam-se pela homogeneidade de seus atributos ao longo do perfil, sendo muito comum a presença de horizonte A fraco e moderado, com pouca distinção, especialmente na cor, em relação aos horizontes subsuperficiais. Ainda, é importante considerar que solos argilosos, como os Latossolos do presente trabalho (textura obtida por levantamento morfológico no campo), apresentam menores taxas de degradação da matéria orgânica. Nos Latossolos oxidícos a estabilização da matéria orgânica do solo (MOS) é

caracterizada por expressivas interações organominerais, que são observadas mesmo nas partes mais lábeis da MOS. Neste contexto, a agregação é considerada um importante mecanismo de estabilização de C, tanto em ambientes de clima tropical, como temperado e na maioria dos solos de clima subtropical. O carbono orgânico particulado fino aprisionado nos macroagregados é gradualmente estabilizado dentro dos microagregados, aumentando a interação organomineral e a estabilização da MOS. Portanto, a formação e manutenção dos agregados é um processo chave no sequestro de C (BAYER et al., 2011).

BAYER et al. (2006) ao estimarem taxas de acúmulo de C em áreas de Cerrado sob SPD com sucessão soja/milho, relataram taxas anuais de acumulação de C de 0,30 e 0,60 Mg há⁻¹. Já foram encontrados acúmulo de C de 0,38 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ em uma sucessão soja/milho e de encontro aos resultados obtidos neste trabalho, não observaram acúmulo de C no SPD em comparação ao SPC em Latossolo. Segundo estes autores o acúmulo de C pode variar de região para região dependendo das condições climáticas, tipos de solo, manejo adotado e a quanto tempo foi implementado o SPD (MAIA et al., 2009). Em outro estudo, as adições médias de C das culturas, estimadas em uma região de clima subtropical, variaram dependendo dos diferentes sistemas de cultivo utilizados em cada período de observação. A matéria orgânica do solo decompõe-se facilmente em áreas sem adoção de manejo conservacionista, ou seja, levando a diminuição dos EstC e contribuindo com a emissão de gases do efeito estufa nas áreas agrícolas (CERRI et al., 2007).

O aumento dos teores de matéria orgânica do solo (MOS) é um processo que ocorre de forma gradual e lenta, requerendo um manejo cuidadoso e contínuo, especialmente em regiões de clima tropical. Nessas áreas, a taxa de decomposição da matéria orgânica é mais elevada devido às altas temperaturas e à umidade do solo, o que torna essencial a implementação de práticas de manejo adequadas (KOVEN et al., 2017). A substituição de áreas preservadas, como o cerrado nativo e as áreas de preservação permanente (APPs), como as Veredas, por áreas destinadas à produção agrícola, tem um impacto significativo nos atributos dos solos. Isso ocorre devido à alteração das características do solo, como estrutura, porosidade e fertilidade, que são fundamentais para o armazenamento e a ciclagem de carbono no solo (SALTON et al., 2008).

4 CONCLUSÕES

O estudo evidenciou que a distribuição e a estabilidade do carbono orgânico no solo são influenciadas pelos diferentes sistemas de cultivo, com implicações significativas para a sustentabilidade agrícola e a capacidade do solo de mitigar as mudanças climáticas.

O Sistema Plantio Direto é o mais eficaz na manutenção e aumento dos teores de carbono orgânico, devido à menor perturbação do solo e ao maior transporte de matéria orgânica.

Foram observadas variações na distribuição do carbono orgânico em diferentes profundidades, ressaltando a importância de considerar não apenas os sistemas de cultivo, mas também as variações verticais ao avaliar a saúde e a qualidade do solo.

Os solos hidromórficos possuem maior concentração de EstC. A preservação das Veredas não apenas mantém seu papel crucial na regulação do ciclo do carbono, mas contribui para a conservação da biodiversidade e a prestação de serviços ecossistêmicos essenciais. Portanto, é importante adotar práticas de manejo sustentável que conciliem a produção agrícola com a conservação dos recursos naturais, promovendo a promoção da sustentabilidade a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, Marcelo Augusto et al. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral, 2018.
- BAYER, Cimélio et al. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos em ciência do solo**, v. 7, n. 5, p. 55-118, 2011.
- BENITES, V. de M.; MADARI, B. E.; MACHADO, PLO de A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. 2003.
- BIOMAS BRASILEIROS. **Educa jovens ibge**, 2004. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html#:~:text=O%20Bioma%20Cerrado%20ocorre%20principalmente,rica%20do%20mundo%20em%20biodiversidade>. Acesso em: 22/03/2023.
- BONA, Fabiano Daniel de et al. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 911-919, 2006.
- Brasil. **Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm.
- BRIEDIS, Clever et al. Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, p. 1007-1014, 2012.
- CARDOSO, E. J. B.N.; ANDROTE, F. D. Microbiologia do solo. 2ªed. São Paulo: ESALQ, 2016.
- CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e Aquecimento Global. 2007, 9 p. Disponível em: http://www.aquecimento.cnpem.embrapa.br/bibliografia/agr_e_aquec_Cerri_2007.pdf.
- CLAESSEN, Marie Elisabeth Christine et al. Manual de métodos de análise de solo. 1997.
- CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.
- DA PENHA SIMON, Carla et al. Emissão de CO₂, atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes sistemas de preparo do solo. **Nativa**, v. 7, n. 5, p. 494-499, 2019.
- DOS SANTOS, Humberto Gonçalves et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

FABRÍCIO, A. A.; 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*, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer Analysis System To Fixed Effects Split Plot Type Designs. *Revista Brasileira de Biometria*, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.

FONSECA, S. F.; SILVA, Alexandre Christófar; SENNA, JA de. Técnicas de geoprocessamento aplicadas na identificação de usos da terra no entorno das turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise, Curitiba**, v. 43, p. 124-139, 2018.

GUARESCHI, Roni Fernandes; PEREIRA, Marcos Gervasio; PERIN, Adriano. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2615-2628, 2013.

JANSSENS, IA et al. O custo do carbono da renovação de raízes finas em uma floresta de pinheiro silvestre. **Ecologia e manejo florestal**, v. 168, n. 1-3, pág. 231-240, 2002.

KER, João Carlos. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, 1997.

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

MACHADO, Pedro LO de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química nova**, v. 28, pág. 329-334, 2005.

MACHADO, Ricardo B. Estimativa de perda da área do Cerrado brasileiro. 2016.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. *Geoderma*, Amsterdam, v. 149, n. 1, p. 84-91, 2009.

MAPBIOMINASBRASIL. MapBiomas Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 24 maio 2022.

MITSCH, W. J. et al. 5ª Ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 747p.

QUAGGIO, J. A.; VAN RAIJ, B. Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solos. 1979.

RIBEIRO, Fabiana Piontekowski et al. Armazenamento de Carbono em Diferentes Compartimentos em Plantações de Eucalipto e Vegetação Nativa de Cerrado. **Plantas**, v. 12, n. 14, pág. 2751, 2023.

RIBEIRO, Fabiana Piontekowski et al. **Decomposição de matéria orgânica ajuda na conservação ambiental no Cerrado**. 2023. Embrapa, Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/80225781/decomposicao-de-materia-organica-ajuda-na-conservacao-ambiental-no-cerrado>. Acesso em: 22 set. 2023.

ROSSET, Jean Sérgio; SCHIAVO, Jolimar Antonio; ATANÁZIO, Ricardo Augusto Rezende. 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.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.;

SANTOS, Rafael Lira Teixeira. CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS ÚMIDAS E ANÁLISE TEMPORAL DE OCUPAÇÃO E USO DAS TERRAS POR SENSORIAMENTO REMOTO. 2020.

SIQUEIRA NETO, Marcos et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 709-717, 2009.

SOUZA, Edicarlos Damascena de et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

TEIXEIRA, Marília Carvalho et al. Faciologia orgânica da Formação Romualdo (Grupo Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe): caracterização da matéria orgânica sedimentar e interpretação paleoambiental. **Geologia USP. Série Científica**, v. 17, n. 4, p. 19-44, 2017.

TROIAN, Douglas et al. CARBONO ORGÂNICO E ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO. **Revista em Agronegócio e meio ambiente**, v. 13, n. 4, 2020.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, n. 1, p. 29-38, jan./june 1934.

ZHAO, Ling et al. Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures. *Journal of Hazardous Materials*, v. 256, p. 1- 9, 2013.