



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
RONDÔNIA
CAMPUS COLORADO DO OESTE
CURSO ENGENHARIA AGRONÔMICA

ALINNE MARQUES TORRES MOREIRA

**ESTOQUE DE CARBONO EM UM PLANOSSOLO CULTIVADO COM
DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS E PASTAGEM**

COLORADO DO OESTE

2023



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
RONDÔNIA
CAMPUS COLORADO DO OESTE
CURSO ENGENHARIA AGRONÔMICA

ALINNE MARQUES TORRES MOREIRA

ESTOQUE DE CARBONO EM UM PLANOSSOLO CULTIVADO COM
DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS E PASTAGEM

Monografia apresentada ao curso Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO) - *Campus* Colorado do Oeste, como requisito parcial para obtenção do Título de grau de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof.^a Dra. Stella Cristiani Gonçalves Matoso

COLORADO DO OESTE

2023

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Moreira, Alinne Marques Torres.

Estoque de carbono em um planossolo cultivado com diferentes
espécies florestais e pastagem / Alinne Marques Torres Moreira,
Colorado do Oeste-RO, 2024.
29 f.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Stella Cristiani Gonçalves Matoso.
Coorientador(a): Prof^ª. Dra. Dany Roberta Marques Caldeira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia -
IFRO, Colorado do Oeste-RO, 2024.

1. Densidade do solo. 2. Forragicultura. 3. Floresta plantada. 4.
Sequestro de carbono. 5. Silvicultura. I. Matoso, Stella Cristiani
Gonçalves (orient.). II. Caldeira, Dany Roberta Marques (coorient.). III.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia -
IFRO. IV. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Juliana Machado da Silva Sasset, CRB-11/1140 (Campus Colorado do Oeste)

RESUMO

A matéria orgânica desempenha um papel fundamental na manutenção das funções do solo, destacando-se o sequestro e armazenamento de carbono. No entanto, as recorrentes alterações em seu uso, interferem diretamente no seu teor, alterando na dinâmica deste elemento, podendo ocasionar o seu retorno à atmosfera. O objetivo deste trabalho foi determinar o estoque de carbono de um Planossolo sob usos considerados conservacionistas. O experimento foi conduzido em um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e seis tratamentos, que correspondem ao cultivo de cinco espécies arbóreas (*Khaya senegalensis*, *Khaya grandifoliola*, *Swietenia macrophylla*, *Tectona grandis* e *Toona ciliata*) e uma pastagem formada pela mistura de espécies forrageiras (*Urochloa ruzizienses* cv. MG5, *Panicum maximum*, *U. humidicola* cv. humidicola e *U. brizantha* cv. marandu). A coleta de solo foi efetuada na camada de 0-10 cm, em duas épocas do ano (seca e chuvosa) com a realização das seguintes análises: densidade do solo, carbono orgânico total e estoque de carbono. Como resultado obtido, o tratamento com apenas pastagem apresentou maior teor de densidade no solo $1,43 \text{ kg dm}^{-3}$, os tratamentos compostos por espécies arbóreas não apresentaram diferenças significativas em relação ao estoque de carbono, e a segunda coleta demonstrou resultados superiores quando comparada à primeira coleta.

Palavras-chave: Densidade do solo. Forragicultura. Floresta plantada. Sequestro de carbono. Silvicultura.

ABSTRACT

Soil organic matter plays a fundamental role in maintaining soil functions, especially carbon sequestration and storage. However, recurrent changes in land use directly interfere with its content, altering the dynamics of this element and potentially causing it to return to the atmosphere. The objective of this study was to determine the carbon stock of a Planossolo under conservation uses. The experiment was conducted in a randomized block design with four replications and six treatments, corresponding to the cultivation of five tree species (*Khaya senegalensis*, *Khaya grandifoliola*, *Swietenia macrophylla*, *Tectona grandis*, and *Toona ciliata*) and a pasture formed by a mixture of forage species (*Urochloa ruzizienses* cv. MG5, *Panicum maximum*, *U. humidicola* cv. humidicola, and *U. brizantha* cv. marandu). The Soil was collected from the 0-10 cm layer at two different periods of the year (dry and rainy) and the following analyses were carried out: soil density, total organic carbon, and carbon stock. As a result, the treatment with only pasture showed higher soil density 1,43 kg dm⁻³, the treatments with tree species showed no significant differences in terms of carbon stock, and the second collection showed better results when compared to the first collection.

Keywords: Soil density. Forage farming. Planted forest. Carbon sequestration. Forestry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desmatamento acumulado e supressão de vegetação anual na Amazônia	12
Figura 2 - Mapa de teor de carbono orgânico do solo do Brasil na resolução espacial de 90 m Versão 2021	14
Figura 3 – Mapa de localização da área experimental, IFRO, <i>Campus</i> Colorado do Oeste, RO.	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de solo realizado na área experimental	18
Tabela 2 – Médias de densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est. C) do solo em função do cultivo de diferentes espécies florestais e pastagem, estação seca, Colorado do Oeste, RO.	22
Tabela 3 – Médias de densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est. C) do solo em função das diferentes épocas de coleta do solo, Colorado do Oeste, RO.	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 Bioma amazônico no panorama mundial das emissões de carbono ..	10
2.2 O solo como reservatório de carbono.....	11
2.3 Estoque de carbono em cultivos florestais	12
2.4 Estoque de carbono em pastagens	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1 INTRODUÇÃO

A importância da agricultura no âmbito socioeconômico brasileiro é notória, pois essa atividade contribui diretamente para o equilíbrio da balança comercial nacional (EMBRAPA, 2020). Em conjunto com a pecuária, esse setor é responsável pela geração de mais de 140,9 mil novos postos de trabalho, contribuindo com cerca de 26,6% do PIB e apresentando uma crescente expansão e modernização das suas atividades (CEPEA, 2020).

A região amazônica brasileira passa atualmente pela expansão da fronteira agrícola, sofrendo desmatamento, tanto para o uso de produtos madeireiros, quanto para o estabelecimento de pastagens e cultivos anuais (ESTADOS UNIDOS, 2021). Em resposta a essa realidade e à exploração inadequada dos recursos naturais, a implantação de projetos florestais e de manejos racionais no cultivo das pastagens, embasados em sistemas conservacionistas de uso e manejo do solo, tem-se mostrado como uma alternativa viável na busca pela sustentabilidade da produção agropecuária (MATOSO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2015; ROSA et al., 2017).

A qualidade do solo é diretamente responsável pelo sucesso das atividades agropecuárias em qualquer ambiente, sendo comumente avaliada pelo conteúdo e pelos compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS) (MATOSO et al., 2012; SOBUCKI et al., 2019). Assim, a fração orgânica do solo, proveniente do sequestro e armazenamento de carbono (C), é considerada como um importante indicador das alterações advindas das formas de uso e manejo do solo, principalmente considerando a sua fração lábil, de rápida ciclagem, que representa um terço do C estocado no solo (SCHIMEL, 1995). Dessa forma, parte considerável do C presente no solo pode retornar rapidamente para atmosfera, a depender do manejo empregado (NANZER et al., 2019; SCHIMEL, 1995).

Em consequência do avanço da transformação de ambientes naturais em áreas de produção e dos manejos errôneos dentro dos sistemas de cultivo têm-se observado mudanças significativas na dinâmica das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (MATOSO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2015; ROSA et al., 2017). Observa-se, portanto, que os solos cultivados da região amazônica estão suscetíveis a alterações e, tendo em vista a importância global desse

bioma, se faz necessário o monitoramento do impacto dessas atividades sobre as propriedades dos solos, dentre elas o C orgânico armazenado no solo.

Diante ao exposto, o presente trabalho teve como objetivo determinar o estoque de C de um Planossolo sob usos considerados conservacionistas, dentro do contexto edafoclimático amazônico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil enfrenta desafios ambientais relacionados ao desmatamento na região amazônica (Pimenta, 2023). Projeções indicam ameaças substanciais à floresta até o ano de 2050, colocando em risco a biodiversidade e agravando o fenômeno do aquecimento global (ESTADOS UNIDOS, 2021). Compromissos de alcance internacional, a exemplo do Acordo de Paris e do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), têm por objetivo mitigar as emissões e fomentar práticas agrícolas sustentáveis (BRASIL, 2012). Assim, o monitoramento dos teores de C orgânico nos solos amazônicos sob uso agropecuário se faz necessário, e a presente revisão de literatura objetiva levantar o estado da arte sobre o tema de estudo.

2.1 Bioma amazônico no panorama mundial das emissões de C

A condição do bioma amazônico representa um exemplo emblemático, que ilustra a prática indiscriminada de desmatamento para atividades como a extração madeireira ou propósitos agropecuários (Pimenta, 2023). Simultaneamente, esse processo promove a degradação ambiental, caracterizada por solos empobrecidos e degradados (SACCARO JR, 2011). O Brasil é classificado como o sétimo país com maiores emissões de gases de efeito estufa do mundo, uma situação resultante principalmente da prática do desmatamento, queimadas e manejos não conservacionistas. Esse cenário tem se agravado devido à expansão das atividades agrícolas, especialmente nas áreas que englobam o bioma amazônico (BRITO et al., 2018).

Projeções preocupantes sinalizam que até o ano de 2050 a Floresta Amazônica enfrentará a ameaça iminente de perder uma parcela considerável

de sua vasta extensão, estimada em até 40%, aumentando drasticamente o nível de emissão de dióxido de carbono (CO₂), contribuindo para perda da biodiversidade e aumento da pobreza, por conseguinte potencializando o aquecimento global (ESTADOS UNIDOS, 2021).

A floresta amazônica, por um longo período, desempenhou um papel vital como uma das maiores fontes de sumidouro de C do planeta, capturando grandes quantidades de CO₂ da atmosfera, entretanto, a expansão das atividades de agricultura e pecuária, que frequentemente adotam práticas de manejos inadequados e não conservacionistas, a região está mais emitindo C para atmosfera do que sequestrando (ESTADOS UNIDOS, 2021). Dados fornecidos por essa agência apontam que a pecuária é um dos principais impulsionadores do desmatamento, sendo responsável por cerca de 80% da área desmatada na região durante o período entre 2005 e 2015.

O desmatamento seguido da queima agrava ainda mais essa situação. Um estudo no município de Ariquemes, RO (GRAÇA et al., 1999), estimou uma biomassa inicial acima do solo (vegetação derrubada e residual em pé) de aproximadamente 311 Mg ha⁻¹, com um estoque de C de 141,3 Mg ha⁻¹. Após a queima na área, o estoque de C foi reduzido em 36,8% e os estoques de carvão e cinzas formados foram de 6,4 e 1,0 Mg ha⁻¹, respectivamente, demonstrando assim elevada emissão de C para a atmosfera.

Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), o governo federal brasileiro tomou medidas para reduzir os impactos ambientais do país ao assinar o Acordo de Paris (BRASIL, 2015). Este acordo abrange medidas de redução de emissão de dióxido de C a partir de 2020. O tratado tem como objetivo evitar que a temperatura global aumente mais de 2 °C em relação aos níveis pré-industriais e limitar o aumento a 1,5 °C. No Acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025 e 43% até 2030, comparado aos níveis de emissões de 2005 (BRASIL, 2015).

Observa-se na Figura 1 um desmatamento acumulado na região amazônica crescente, com aumento percentual anual elevado a partir de 2018, ainda que nos últimos anos apresenta tendência de redução (Pimenta, 2023).

Figura 1 - Desmatamento acumulado e supressão de vegetação anual na Amazônia

Desmatamento acumulado na Amazônia

(1.000 km²)



Fonte: TerraBrasilis (Prodes – Desmatamento)

Supressão de vegetação por ano na Amazônia

(1.000 km²)



Fonte: Inpe

Fonte: Pimenta (2023).

2.2 O solo como reservatório de C

O solo desempenha um papel essencial como reservatório temporário de C no ecossistema, retendo em média 4,5 vezes mais C do que a biota e 3,3 vezes mais do que a atmosfera (BRITO et al., 2018). No entanto, a transformação de áreas naturais em terras agrícolas exerce um grande impacto no C armazenado, devido à modificação dos processos químicos e biológicos do solo (SCHIMEL, 1995).

O C constitui a maior proporção na composição da MOS, representando em média cerca de 58% do total (SATO, 2013). Logo, práticas que conservam a MOS podem contribuir para a redução de até 8,9% de CO₂ da atmosfera (LUZ, 2017). As variações na quantidade de C orgânico do solo também são usadas para avaliar a qualidade do solo, devido à sua influência nas propriedades que afetam a fertilidade do solo, pois a MOS, além de sequestrar C, desempenha um

papel fundamental na integração dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo (SATO, 2013).

O aumento dos teores de MOS resulta em maior da porosidade do solo, facilitando a infiltração de água e aprimorando sua capacidade de retenção de umidade; promove maior diversidade e atividade dos organismos no solo, resultando em uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas; e atua na regulação do pH, no aumento da capacidade de troca de cátions e na complexação de elementos, contribuindo de forma significativa para a aprimoração das propriedades do solo (CAMPOS et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2015; BETIOL et al., 2023).

A adição contínua de resíduos orgânicos, sejam de origem vegetal ou animal, em áreas agrícolas, juntamente com a implementação de práticas de manejo conservacionistas, possui o potencial de aumentar o teor de C no solo (LOCATELLI, 2018). Porém, é importante ressaltar que as variações podem ocorrer dependendo das características edafoclimáticas específicas (BETIOL et al., 2023).

O Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos) promovido pelo Governo Federal, recebeu um impulso significativo com a introdução dos recentes mapas de estoque de C orgânico nos solos do país (Figura 2) (GEOINFO, 2023). Esses mapas foram desenvolvidos com o propósito de quantificar o teor de C no solo brasileiro, proporcionando assistência na identificação de áreas degradadas, conforme descrito por (GEOINFO, 2023). Esse desenvolvimento representa um marco importante no entendimento da distribuição do C no solo e destaca o compromisso do governo em aprimorar a gestão sustentável desses recursos naturais, contribuindo para diversos estudos e iniciativas voltadas à conservação do solo no Brasil (GEOINFO, 2023).

A região amazônica se destaca no mapa devido às maiores concentrações de estoque de C, apresentando quantidades que variam de 3 a 77 g kg⁻¹ (Figura 2), o que é considerado significativamente alto se comparados com as outras regiões do país.

2.3 Estoque de C em cultivos florestais

As espécies florestais desempenham um papel de extrema importância na atenuação dos efeitos das mudanças climáticas, contribuindo para a fixação de C (SILVA et al., 2021). Entretanto, é importante observar que a eficácia dessa abordagem está intrinsecamente ligada à capacidade individual de retenção de C de diferentes espécies florestais (ALMEIDA et al., 2010).

O estoque de C em sistemas florestais é um importante indicativo da qualidade de agregação de matéria orgânica ao solo (MASCARENHAS et al., 2017). Estudos conduzidos na região norte demonstraram que quando gerenciados de forma adequada, esses sistemas possuem um significativo potencial para aumentar os estoques de C, devido à sua diversidade tanto em termos verticais quanto horizontais (MASCARENHAS et al., 2017). Esses autores também relataram que o aporte de matéria orgânica pode ser favorecido por diferentes arranjos espaciais que impulsionam o acúmulo de C aumentando o estoque no solo de sistemas agroflorestais.

Quanto a serviços ambientais, o estoque de C pode servir como indicador, uma vez que o acréscimo nos depósitos de C no solo é frequentemente vinculado à mitigação dos impactos adversos das mudanças climáticas. Dessa forma, a presença de C no solo e na biomassa vegetal também é benéfica para outras funções ecossistêmicas e prestação de serviços ambientais (PARRON et al., 2015).

O estoque de C na vegetação da floresta amazônica é elevado, por exemplo, Aguiar et al. (2017) verificaram estoque de C variando de 59,18 a 128,89 Mg ha⁻¹ na biomassa florestal no Pará e Souza et al. (2012) obtiveram estoque de C de 181,01 Mg ha⁻¹ em estudo conduzido em floresta tropical no Amazonas. Nos solos amazônicos o estoque de C pode chegar a 94 Mg ha⁻¹, considerando a profundidade de 1 m (FEARNSIDE, 2012).

Em sua pesquisa sobre estoque de C em sistemas de uso da terra em Rondônia, Rodrigues et al. (1999) estimaram que os sistemas agroflorestais têm a capacidade de operar como reservatórios de C, recuperando de 82% a 54% do C presente na floresta ao longo de um período de 15 anos.

2.4 Estoque de C em pastagens

O solo é amplamente reconhecido como um dos principais reservatórios de C. Ao considerar as dinâmicas das mudanças climáticas e as estratégias de manejo implementadas, torna-se possível observar que tais processos podem resultar tanto em emissões quanto em sequestro de C no solo (OLIVEIRA; CERRI, 2015). Neste contexto, os autores afirmaram que a conversão da vegetação nativa para pastagem possui o potencial de influenciar o estoque de C no solo, podendo acarretar sua manutenção, aumento ou redução (OLIVEIRA; CERRI, 2015).

A mencionada influência manifesta-se de acordo com as práticas de manejo adotadas na pastagem. A implementação de manejos errôneos, caracterizados por superpastejo, altas taxas de lotações e a deficiência nutricional durante os estágios de estabelecimento e manutenção, contribuirá para a diminuição do estoque de C (CARDOSO et al., 2010).

Cardoso et al. (2010) citaram que na região do Cerrado, a conversão de áreas para pastagens em substituição à vegetação nativa tem sido identificada como um fator que favorece a conservação dos estoques de MOS. Ademais, nas áreas de pastagem sujeitas a práticas de manejo conservacionistas, é possível observar uma maior acumulação de C no solo, comparativamente às áreas mantidas sob a vegetação original.

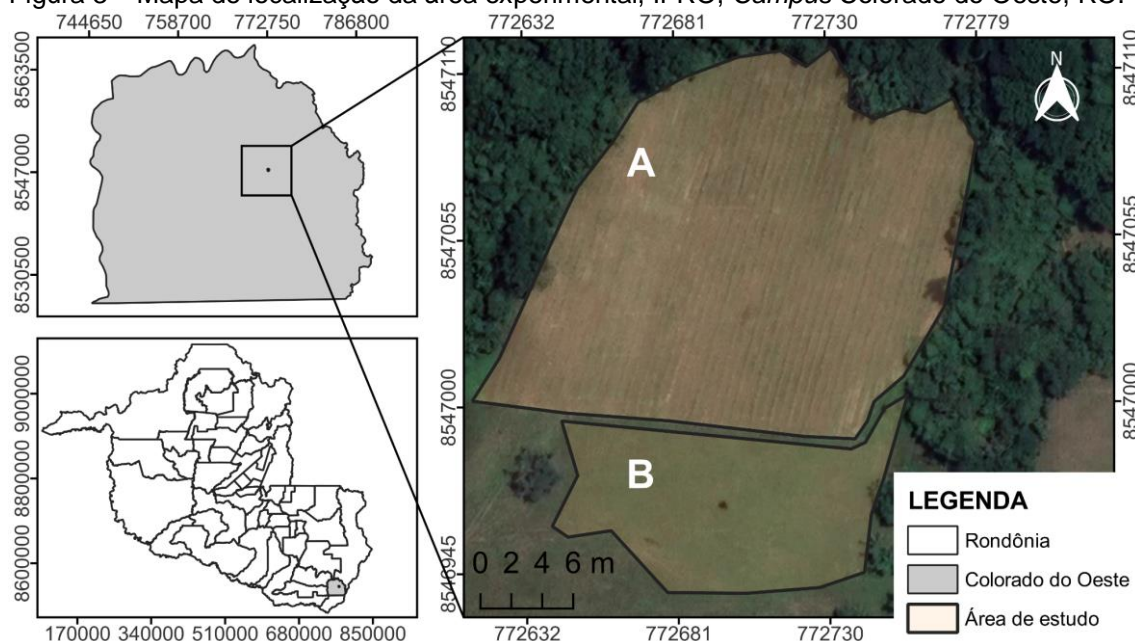
Bay (2015) afirmaram, em estudo desenvolvido no Instituto Federal de Rondônia - *Campus* Ariquemes, que o sistema radicular bem desenvolvido das gramíneas propicia uma significativa deposição de C no solo. Desse modo, pastagens bem manejadas e com planejamento adequado sobre seu uso são capazes de estimular o aumento ou a conservação dos níveis de MOS.

Em estudo conduzido no leste do Acre, Araújo et al. (2011) encontraram, na camada de solo de 0 a 40 cm, estoque de C que variou de 4,77 a 22,86 Mg ha⁻¹ em solo sob pastagem (*Urochloa brizantha*). A variação ocorreu, principalmente, em decorrência do tempo de implantação das pastagens, sendo explicada pelo progressivo acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo (ARAÚJO et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, *Campus* de Colorado do Oeste/RO (Figura 2). O clima da região é denominado como AW segundo classificação de Koppen, caracterizado como quente úmido com a estação definida chuvosa no verão e seco no inverno (BECK et al., 2018). A região está inserida em um ecótono de transição entre Cerradão tropical subperinifólio e Floresta tropical subperenifólia (SANTOS et al., 2015).

Figura 3 – Mapa de localização da área experimental, IFRO, *Campus* Colorado do Oeste, RO.



O solo do local foi classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico, textura média/argilosa, A moderado, endoálico, Tb, fase floresta equatorial subperenifólia, relevo plano (LUMBRERAS et al., 2019).

Para a realização do estudo foi utilizada uma área experimental de outro projeto de pesquisa que se encontra em andamento, o qual foi institucionalizado pelo edital nº 2/2021/REIT - PROPESP/IFRO. O experimento foi conduzido em um delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições e cinco tratamentos, que correspondem a diferentes espécies arbóreas, Mogno Africano (*Khaya senegalensis*), Mogno Africano (*Khaya grandifoliola*), Mogno Brasileiro (*Swietenia macrophylla*), Teca (*Tectona grandis*) e Cedro Australiano (*Toona*

ciliata). Ao lado do plantio florestal uma área de pastagem foi reformada em 2018, implantando-se um mix de espécies forrageiras (*Urochloa ruziziensis* cv. MG5, *Panicum maximum*, *U. humidicola* cv. *humidicola* e *U. brizantha* cv. *marandu*). Esta área de pastagem foi dividida em quatro blocos alinhados com a área de plantio florestal, utilizado como o sexto tratamento deste experimento.

O plantio das espécies arbóreas foi realizado em 22 dezembro de 2020, em área anteriormente coberta por pastagem (*Urochloa brizantha* cv. *marandu* e *U. humidicola* cv. *humidicola*).

Inicialmente, realizou-se uma análise de solo na área experimental (Tabela 1). Para o preparo do terreno foi feita a dessecação da forrageira com o herbicida sistêmico glifosato e a remoção de resíduos vegetais de maior porte. As espécies florestais foram plantadas em espaçamento 3 m x 1,8 m.

Tabela 1 – Análise de solo realizado na área experimental.

pH	MO	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H
H ₂ O	g dm ⁻³	-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol _c dm ⁻³ -----			
5,1	31,0	7,0	136	8	1,3	0,2	0,4	4,7

As mudas foram retiradas dos tubetes e mergulhadas em solução com 233 ml de fipronil, 10 L de água e 150 g de monofosfato de amônio (MAP), a fim de prevenir contra o ataque de cupins e formigas, além de assegurar a adubação fosfatada de arranque.

A aplicação do calcário filler foi realizada durante o plantio, na dose de 200 g cova⁻¹. A adubação fosfatada foi dimensionada em 174 g cova⁻¹ de P₂O₅, entretanto a aplicação foi realizada em filete contínuo com 12 kg linha⁻¹. O nitrogênio e o potássio foram fornecidos na forma de uréia e cloreto de potássio, com a aplicação fracionada em três etapas de 46 g e 37 g, respectivamente. Realizou-se também uma aplicação única de 5 g de boro.

Após o plantio das mudas efetuou-se o controle de plantas espontâneas com a aplicação do herbicida a base de oxyfluorfen, herbicida de contato indicado para o controle de plantas de folha larga e de folha estreita, em

aplicações de pré emergência. Como tratos culturais, foram realizados o combate inicial a formigas cortadeiras e roçadas após o plantio.

As coletas das amostras foram realizadas no período de estação chuvosa e seca, correspondendo aos meses de maio e outubro de 2022, respectivamente. As amostras de solo foram coletadas com o auxílio de trado holandês, na camada de 0-10 cm de profundidade, sendo que para cada parcela retirou-se uma amostra composta de três amostras simples. Também foram coletadas amostras indeformadas na camada de 0-10 cm de profundidade, com o emprego de anéis volumétricos.

O experimento seguiu, portanto, um esquema fatorial de 6x2, que corresponde a seis usos de solo (cinco espécies florestais e uma pastagem) em duas épocas do ano, com quatro repetições, totalizando 48 parcelas.

Após a realização do procedimento das coletas de solo na área experimental, as amostras deformadas foram direcionadas para secagem ao ar, por aproximadamente seis dias, em seguida destorroadas e tamisadas em abertura de malha 2 mm, para obtenção de terra fina seca ao ar (TEIXEIRA et al., 2017). Posteriormente, essas amostras foram processadas para determinar o teor de C orgânico total (COT).

O COT foi determinado pelo método de oxidação via úmida (TEIXEIRA et al., 2017). Separou-se uma quantidade de 20 g de TFSA, que em seguida, foi triturada em gral com o auxílio de um pistilo por aproximadamente 1 min, passando-se a amostra triturada por uma peneira de 80 mesh. Utilizando uma balança analítica, foram aferidos 0,25 g de cada amostra triturada, acondicionando-as em tubos de ensaio. Em seguida, pipetou-se 10 mL da solução de dicromato de potássio e adicionou-se às amostras de solo e a uma prova em branco. Os tubos de ensaio foram aquecidos em uma chapa aquecedora que se encontrava dentro de uma capela de fluxo contínuo, até uma fervura branda, mantendo-se essa condição por 5 min. Ao final do aquecimento a prova em branco apresentou uma cor amarelo-castanho e as amostras de solo apresentaram tons mais escuros.

Aguardou-se, então, que as amostras atingissem a temperatura ambiente. E logo, foram transferidas para erlenmeyer de 250 mL, adicionando 80 mL de água deionizada, com o auxílio de proveta, 2 mL de ácido ortofosfórico e 3 gotas de indicador. A titulação foi realizada com solução de sulfato ferroso amoniacal,

até o momento em que a cor azul desaparece, deixando a cor verde predominante, anotando-se o volume gasto em cada amostra. O teor de COT foi então calculado pela seguinte fórmula:

$$C_{org} = 0,003 \times V_d (40 - V_a) \times 40 / V_b \times 10 / m$$

onde: C_{org} = concentração de carbono orgânico no solo, em $g\ kg^{-1}$, V_d volume total da solução de dicromato de potássio adicionado na digestão da amostra, em mL, V_a = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra, em mL, V_b = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido, em mL, m = massa da amostra de solo, em g.

A determinação da densidade do solo (D_s) dos diferentes tratamentos foi realizada por método direto, com amostras indeformadas coletadas por meio de anéis volumétricos (TEIXEIRA et al., 2017).

O anel volumétrico foi fixado no solo por meio de percussão até preencher o seu volume total, realizando-se a retirada com cuidado e removendo-se o excesso de solo ao redor do cilindro. Em seguida, as amostras foram acomodadas em estufa a uma temperatura de $105\ ^\circ C$ por 48 h. Após a completa secagem, foi aferida a massa das amostras em balança analítica. A equação empregada para estimar a D_s é apresentada a seguir.

$$D_s = m / v$$

onde: D_s = densidade do solo ($kg\ dm^{-3}$), m = massa do solo seco e v = volume do anel.

A partir dos dados obtidos foi calculado o Est. C para a área de pastagem pela seguinte fórmula (FERNANDES; FERNANDES, 2013):

$$\text{Est. C (Mg ha}^{-1}\text{)} = D_s \times C_{org} \times E / 10$$

onde: Est. C = estoque de carbono orgânico em determinada profundidade ($Mg\ ha^{-1}$), C = teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada ($g\ kg^{-1}$), D_s = densidade do solo da profundidade ($kg\ dm^{-3}$) e, E = espessura da camada considerada (cm).

O Est. C das demais áreas foi calculado levando-se em conta as diferenças nas massas de solo (CARVALHO et al., 2009), partindo da premissa de que a relação entre a densidade do solo e a espessura da camada permanece constante em relação ao solo de referência, nesse caso o solo sob pastagem.

$$\text{Est. C (Mg ha}^{-1}\text{)} = D_s \times C_{org} \times [(D_{ref} / D_s) \times E] / 10$$

onde: Est. C= estoque de carbono orgânico em determinada profundidade (Mg ha^{-1}), C = teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada (g kg^{-1}), D_s = densidade do solo na profundidade amostrada (kg dm^{-3}), D_{ref} = densidade do solo para profundidade amostrada na área de referência (kg dm^{-3}) e, E = espessura da camada considerada (cm).

A análise estatística consistiu na verificação de dados discrepantes pelo teste de Grubbs, seguida dos testes de homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett) e de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro Wilk). A partir de dados normais efetuou-se a análise de variância pelo teste F. Para comparar o efeito das diferentes espécies empregou-se o teste de médias de Tukey. Todos os testes foram realizados considerando o nível de 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito de interação ($p > 0,05$) entre os fatores para nenhuma das variáveis analisadas. Os diferentes cultivos influenciaram ($p < 0,05$) apenas a D_s (Tabela 2), enquanto as diferentes épocas de coleta afetaram ($p < 0,05$) todas as variáveis (Tabela 3).

O Planossolo estudado apresentou 564 g kg^{-1} de areia, 233 g kg^{-1} de silte e 203 g kg^{-1} de argila, enquadrando-se na classe textural franco-argiloarenosa (LUMBRERAS et al., 2019). Reichert et al., (2003) classificaram como valores críticos de D_s $1,30$ a $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$ para solos argilosos, $1,40$ a $1,50 \text{ kg dm}^{-3}$ para os franco-argilosos e de $1,70$ a $1,80 \text{ kg dm}^{-3}$ para os franco-arenosos. Desse modo, observa-se que o solo de nenhum tratamento ultrapassou esse limite, porém o solo sob pastagem é o que se encontra mais próximo desse limiar (Tabela 2).

A maior média de D_s foi verificada na área de vegetação de pastagem (Tabela 2). Bettioli et al., (2023) afirmam que a D_s é reduzida com o aumento da quantidade de COT, possíveis alterações na qualidade da MOS podem refletir na estrutura e estabilidade em relação aos processos antrópicos. Esses autores enfatizam que o aumento da D_s associado com redução do COT, resulta na diminuição da macroporosidade e aeração do solo, impactando negativamente a qualidade física do solo no contexto da produção agrícola (BETTIOLI et al., 2023).

Tabela 2 – Médias de densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est. C) do solo em função do cultivo de diferentes espécies florestais e pastagem, estação seca, Colorado do Oeste, RO.

Espécie	Ds (kg dm ⁻³)	COT (g kg ⁻¹)	Est. C (Mg ha ⁻¹)
<i>Khaya senegalensis</i>	1,34ab	12,40a	17,75a
<i>Khaya grandifoliola</i>	1,32ab	13,77a	19,77a
<i>Tectona grandis</i>	1,29b	13,35a	19,20a
<i>Toona ciliata</i>	1,34ab	12,55a	18,10a
<i>Swietenia macrophylla</i>	1,31ab	13,50a	19,35a
Pastagem	1,43a	13,19a	18,88a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3 – Médias de densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est. C) do solo em função das diferentes épocas de coleta do solo, Colorado do Oeste, RO.

Época	Ds (kg dm ⁻³)	COT (g kg ⁻¹)	Est. C (Mg ha ⁻¹)
Maio	1,28b	12,45b	17,23b
Outubro	1,39a	13,80a	20,46a

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si, pelo Teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

O ambiente em estudo é direcionado ao pastejamento dos animais ruminantes, onde o efeito do pisoteio de forma constante, juntamente com a inexistência de sombreamento na área, resulta em degradação do solo e redução da disponibilidade de forragem. Esses fatores aumentam gradativamente a compactação do solo, diminuindo a taxa de infiltração de água e nutrientes, tornando-se um solo de maior densidade (BETTIOL et al., 2023). Estes resultados demonstram dois fatores importantes: 1) deve-se adotar medidas de manejo mais conservacionistas na área de pastagem e 2) é

importante calcular o Est. C levando-se em conta as diferenças nas massas de solo (CARVALHO et al., 2009; FERNANDES; FERNANDES, 2013), pois a redução dos valores de Ds nos demais tratamentos poderia levar a médias subestimadas de Est. C.

O teor de C encontra-se em sua grande maioria na forma de MOS. No entanto, o acréscimo de MOS é um procedimento lento que demanda práticas conservacionistas a longo prazo (BRITO et al., 2018). Considerando o tempo de cultivo das árvores, não houve um aumento significativo nas variáveis de COT (Tabela 2).

Estatisticamente as espécies florestais não se diferenciam quanto ao Est. C (Tabela 2). Estes valores observados podem ser considerados elevados, uma vez que as espécies florestais contribuem com uma quantidade limitada de biomassa, em virtude de estarem em seu ciclo inicial de desenvolvimento. Em Argissolos Vermelho-Amarelos em associação com Plintossolos no bioma amazônico, Araújo et al., (2011) identificaram, ao longo de um período de três anos Est. C de $10,52 \text{ Mg ha}^{-1}$ na região do leste do Acre (ARAÚJO et al., 2011).

Ferreira et al., (2011) verificaram, na região sul do país, um estoque de C na camada de 0-20 cm de um Latossolo. Os valores obtidos foram de $17,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $10,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ em solos de textura média; e $22,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $17,0 \text{ g ha}^{-1}$ em solos de textura argilosa (FERREIRA et al., 2011).

As medidas encontradas durante a segunda coleta, no mês de outubro (Tabela 3), foram maiores para todas as variáveis em relação à primeira coleta, os fatores que influenciaram esses aumentos vão desde o clima com variações sazonais entre as estações do ano, deposição de material orgânico e manejo da cultura. Com o passar do tempo e cada vez mais melhorias no manejo do uso do solo, o teor de MOS tende a aumentar, assim como foi descrito por Assad et al., (2013) com o uso de técnicas adequadas, constatou-se a promoção do aumento do Est. C.

O acréscimo na Ds é considerado um indicador significativo de compactação e de impedância mecânica para o crescimento radicular das plantas. Quando a Ds aumenta, há uma compressão dos espaços porosos, afetando diretamente a capacidade de aeração, infiltração de água e disponibilidade de nutrientes (BETTIOL et al., 2023). Entretanto, é sabido que o

volume ocupado pelos sólidos de uma amostra de solo pode variar conforme o teor de água no momento da coleta, especialmente em solos considerados “expansivos” ou com um teor elevado de matéria orgânica (van LIER, 2020). Assim, a D_s deve ser avaliada por mais tempo, a fim de verificar se essa é uma diferença sazonal ou se é uma tendência linear.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diferentes usos do solo afetam principalmente a densidade do solo, sendo que o monitoramento da área sob pastagem deve ser contínuo, uma vez que o solo apresenta maior valor de densidade e está sob pastejo e, conseqüentemente, pisoteio.

A densidade do solo é maior para todos os tipos de uso do solo na segunda coleta, final período seco, logo, é interessante determinar se esse comportamento é devido à diferença sazonal, ou se perdurará ao longo do tempo.

O estoque de carbono na área de pastagem é maior que a média das pastagens da região relatada na literatura. A implantação de espécies florestais não reduz o conteúdo de carbono do solo. Considerando que o período inicial de cultivo é o de menor aporte de biomassa, se faz necessário monitorar os indicadores nos próximos anos, a fim de verificar o impacto do cultivo das diferentes espécies florestais no estoque de carbono no solo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. R.; GAMA, J. R. V.; BELDINI, T. P. Estoque de carbono por grupo ecológico na Floresta Nacional do Tapajós. **Revista Espacios**, v. 38, n. 32, 14 p, 2017.

ALMEIDA, E. M.; JÚNIOR, J. H. C.; FINGER, Z. Determinação de carbono em tecas (*Tectona grandis* L. F.) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4 p. 559-568, 2010.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I.R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROPPPO, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10 p. 6141-6160, 2013.

BAY, M. **Variabilidade do estoque de carbono no solo considerando diferentes coberturas vegetais e o uso da terra no município Ariquemes – RO**. 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Rondônia, Ariquemes, RO.

BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, n. 180214, p.12, 2018.

BETTIOL, W. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 788 p.

BRASIL. **Acordo de Paris**. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República**. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2012. 173 p.

BRITO, M. R.; SIQUEIRA, F. L. T.; DE SOUZA, I. J. A.; de SOUZA, R. N. Estoque de carbono no solo sob diferentes condições de Cerrado. **Revista Desafios**, v. 5, n. Especial, p. 114-124, 2018.

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

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 1028-1035, 2010.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGEL, B. J.; PICCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 342-349, 2009.

CEPEA. **PIB do agronegócio brasileiro**. CNA, 2020.

ESTADOS UNIDOS. **Visão Amazônica**. 2021.

EMBRAPA. **VII Plano Diretor da Embrapa 2020–2030**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 31 p.

FEARNSIDE, P. M. Estoque e estabilidade do carbono nos solos na Amazônia brasileira. In: TEIXEIRA, G. T.; KERM. D. C.; MADARI, B. E; LIMA, H. N.; WOODS, W. (2009). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 259-263.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Atualização dos métodos de cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2013. 5 p. (Comunicado Técnico, 95).

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Comunicado Técnico, 69).

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; GIAROLA, N. F. B. G.; HARMS, M. G.; MIARA, S.; BAVOSO, M. A.; BRIEDIS, C.; NETTO, C. Q. Variação na resistência tênsil

de agregados em função do conteúdo de carbono em dois solos na região dos campos gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 437-445, 2011.

GEOINFO. **Mapa de Solos do Brasil**. Embrapa Solos, 2023.

GRAÇA, P. M. L. A.; FEARNSIDE, P. M.; CERRI, C. C. Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: biomass, charcoal formation and burning efficiency. **Forest Ecology and Management**, v. 120, p. 179-191, 1999.

LOCATELLI, J. L. **Plantas de cobertura em sucessão ao milho e sua contribuição no carbono orgânico do solo**. 45 f. 2018. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, 2018.

LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; DELARME LINDA-HONORÉ, E. A.; BURITY, K. T. L. **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

LUZ, F. B. **Indicadores da qualidade do solo em função do uso da terra**. 88 f. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

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

MATOSO, S. C. G.; SILVA, A. N.; FIORELLI-PEREIRA, E. C.; COLETA, Q. P.; MAIA, E. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 42 p. 231-240, 2012.

NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; OLIVEIRA, T. P.; da SILVA, J. R. M.; PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas

de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1 p. 136-145, 2019.

OLIVEIRA, D. C.; CERRI, C. E. P. Estoque de carbono em pastagens no Brasil: uma revisão. In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 35., 2015, Natal. **Anais...** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 4 p.

OLIVEIRA, E. S.; REATTO, A.; ROIG, H. L. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2 p. 71-93, 2015.

PARRON, L. M.; GARCIA, J.R; OLIVEIRA, E. B; BROWN, G. G.; PRADO, R. **B. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 370 p.

PIMENTA, P. Amazônia sofre com devastação e extrema alteração climática. **Agência Senado**, 2023.

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

RODRIGUES, V. G. S.; CASTILLA, C.; COSTA, R. S. C. C.; PALM, C. **Estoque de carbono em sistemas de uso da terra em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 1999. 14 p.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P. de; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.

SACCARO JR, N. L. A regulamentação de acesso a recursos genéticos e repartição de benefícios: disputas dentro e fora do Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 14 n. 1 p. 229-244, 2011.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 102 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SATO, J. H. **Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do Cerrado**. 90 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SCHIMMEL, D. S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. **Global Change Biology**, v. 1 p. 77-91, 1995.

SILVA, A. T. S.; SIQUEIRA, R. S.; MARIANO, D. C.; OKUMURA, R. S.; KOHLER, S. V.; BLING, A. A. Acúmulo de carbono na biomassa de plantas de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) em área de reflorestamento. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 51070-51082, 2021.

SOBUCKI, L.; RAMOS, R. F.; BELLÉ, C. Manejo e qualidade biológica do solo: uma análise. **Agronomia Brasileira**, v. 25, n. 1 p. 1-8, 2019.

SOUZA, C. R.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B.; SIILVA K. E.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Dinâmica florestal e estoque de carbono em floresta primária na região de Manaus/AM. **Acta Amazonica**, v. 42 p. 501-506, 2012.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.