

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**ESTOQUE E PROTEÇÃO FÍSICA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO
EM DIFERENTES SISTEMAS FLORESTAIS**

MAICON DOS SANTOS DA SILVA

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
FEVEREIRO – 2022

MAICON DOS SANTOS DA SILVA

**ESTOQUE E PROTEÇÃO FÍSICA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO
EM DIFERENTES SISTEMAS FLORESTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof. Patricia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (UESB)

Co- orientador: Paulo Henrique Marques Monroe

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
FEVEREIRO– 2022

S586e Silva, Maicon dos Santos da.
Estoque e proteção física do carbono orgânico do solo em diferentes sistemas florestais. / Maicon dos Santos da Silva, 2022. 47f.
Orientador (a): D.Sc. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Vitória da Conquista, 2022.
Inclui referências. 40 - 47.
1. Agregados do solo. 2. *Eucalyptus urophylla*. 3. *Pterogyne nitens*. 4. Solo. I. Barreto-Garcia, Patrícia Anjos Bittencourt de. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. III. T.

CDD: 631.4181

MAICON DOS SANTOS DA SILVA

**ESTOQUE E PROTEÇÃO FÍSICA DO CARBONO ORGÂNICO DO
SOLO EM SISTEMAS FLORESTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 07 de fevereiro de 2022.

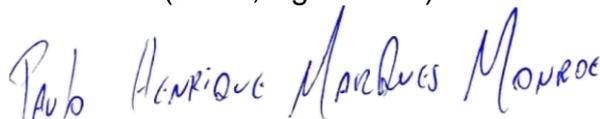
Comissão Examinadora:



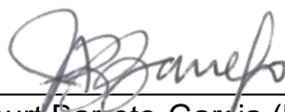
Prof. João Carlos Medeiros (D.Sc., Agronomia) – UFSB



Prof. Marcos Gervasio Pereira (D.Sc., Agronomia) – UFRRJ



Pesquisador Paulo Henrique Marques Monroe – UESB Coorientador



Prof^a. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (D.Sc., Produção Vegetal) - UESB Orientadora

Dedico essa dissertação ao meu pai Zildenê Ferreira da Silva (in memoriam) e minha avó/mãe Alaíde Maria da Conceição (in memoriam) que partiram no ano de 2019, exatamente o ano que iniciei o mestrado, mas que se fizeram presente ao longo de toda essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me guiado até o final dessa jornada que não foi fácil trilhar, mas que também foi muito prazerosa por todo crescimento pessoal, intelectual e profissional que me proporcionou. Minha mãe Marli nada do que eu venha escrever aqui vai ser capaz de mensurar o tamanho da gratidão que tenho por você acreditar em meus sonhos e me apoiar em absolutamente tudo que eu faço e não foi diferente nesse mestrado, que sem a sua participação não teria sido possível chegar até o dia de hoje.

Tio Antônio muito obrigado por todo apoio que o senhor me deu e por se fazer presente em todos os momentos. Lorena, Larissa e Nil Leal vocês me abraçaram e cuidaram da minha saúde mental, com toda leveza que trouxeram para as coisas, amor, cuidado e acima de tudo incentivo para vencer todas as adversidades, gratidão por tudo. Aos demais familiares muito obrigado pelo apoio e suporte que todos sempre me deram ao longo desses dois anos.

Tia Cléo, Gilvan, Van Victor e Simone obrigado por se fazerem presentes e por ter me dado tanto suporte ao longo dessa jornada. Mateus Mendes meu irmão, você e sua família são uma das pessoas que mais tenho a agradecer agora ao final dessa jornada, muitíssimo obrigado pelo acolhimento, proteção e cuidado.

Agradeço a Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais por toda estrutura e facilidades concedidas para a realização desta pesquisa, registro também meus agradecimentos a FAPESB pela concessão da bolsa. Agradeço aos professores Divino e Gilmar por terem aberto as portas dos seus laboratórios para que eu pudesse executar muitas etapas da dessa pesquisa, agradeço a Fabrícia, Luana, Ione, Murilo, Marquinhos, Duda e Piaba por terem me ajudado em momentos importantes desta pesquisa. Agradeço também ao professor Gervasio e ao Luís por terem executado uma análise essencial desta pesquisa que foi não possível executar na UESB.

Um agradecimento muito especial eu gostaria de direcionar para minha orientadora Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia e meu co-orientador: Paulo Henrique Marques Monroe, por serem grandes facilitadores desse trabalho, por estarem

presentes em todas as etapas, por todas as orientações que foram passadas me motivando a evoluir sempre e sem se esquecer que estava orientando um ser humano e não mais número a ser computado no *Lattes*, enfim admiro demais vocês dois e vou levar comigo todos os ensinamentos aprendidos.

E um agradecimento todo especial vai para meus amigos e colegas que fiz ao longo dessa jornada, os quais vou sempre levar comigo por todas as experiências e momentos inesquecíveis que compartilhados juntos durante mestrado. Angela, Biah, Carol Chaves, Carol Teles, Daise, Diacuí, Fabiano, Flávia, Jaqueline, José Luiz, Jeverson, Juliana, Julia Cristine, Kyegla, Luana, Lucas, Lair, Maritania, Monalisa, Tatiana, Thaís, Wallesca. Obrigado Jhully e Vanessa por se fazerem presentes mesmo estando longe. João muito obrigado por todo o suporte e parceria. Luma e Mariana vocês fizeram as coisas acontecerem, minhas parceiras com quem eu pude e posso contar para tudo, que ajudaram em todos os momentos e de tantas formas, gratidão demais por concluir mais essa jornada ao lado de vocês duas.

RESUMO

SILVA, Maicon dos Santos da, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, dezembro de 2021. **Estoque e proteção física do carbono orgânico do solo em diferentes sistemas florestais.** Orientadora: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia. Co-orientador: Paulo Henrique Marques Monroe.

O armazenamento de carbono no solo e a sua oclusão no interior dos agregados está no centro das discussões a respeito das mudanças climáticas e aquecimento global, por ser um dos mecanismos capazes de mitigar os efeitos desses fenômenos por isso o objetivo do presente estudo foi quantificar o estoque de carbono orgânico do solo (COS) e ocluso no interior dos agregados, bem como a distribuição dos agregados do solo para compreender a dinâmica do carbono em diferentes sistemas florestais. O estudo foi conduzido em três sistemas florestais: duas áreas de plantios homogêneos (*Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla*) e uma floresta nativa, sediados no município de Vitória da Conquista. Nas áreas, foram demarcadas quatro parcelas para a avaliação dos agregados do solo, estoque de carbono total e ocluso. Dentro de cada parcela foi aberta uma trincheira até a profundidade de um metro na qual foram coletadas amostras de solo em seis profundidades. O uso do solo (sistemas florestais) e a textura do solo foram determinantes para a quantidade de COS armazenado, propiciando armazenamento superior nas áreas de plantio de *E. urophylla* e floresta nativa em comparação a área de plantio de *P. nitens*. A distribuição das classes de agregados entre o plantio de *E. urophylla* e a floresta nativa seguiu o mesmo padrão de armazenamento de carbono no perfil do solo, devido a relação direta que os agregados mantêm com o COS, enquanto na área de plantio de *P. nitens* os valores foram inferiores em comparação a estes dois sistemas florestais, predominando mecanismos de estabilização de carbono que não apresentaram um padrão definido neste estudo. Embora a oclusão do carbono nos sistemas avaliados tenha representado uma pequena parcela do carbono estocado no solo, na área de floresta nativa foi verificada uma maior proteção física do carbono e nas de plantios de *E. urophylla* e *P. nitens* este padrão foi similar, indicando que tais sistemas melhoram a proteção física do carbono no solo, porém por mecanismos distintos.

Portanto, estudos que ajudam a entender a estabilização de carbono em plantios florestais de baixa adição de resíduos, mas de alta qualidade, devem ser mais encorajados, com ênfase nos mecanismos de estabilização de carbono nesses sistemas.

Palavras-chave: Agregados do solo, *Eucalyptus urophylla*, *Pterogyne nitens*.

ABSTRACT

SILVA, Maicon dos Santos da, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, december, 2016. **Stock and physical protection of soil organic carbon in different forest systems.** Adviser: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia. Co-Adviser: Paulo Henrique Marques Monroe.

Soil carbon storage and its occlusion within the aggregates is at the center of discussions about climate change and global warming, as it is one of the mechanisms capable of mitigating the effects of these phenomena. soil organic carbon stock (SOC) and occluded within the aggregates, as well as the distribution of soil aggregates to understand the dynamics of carbon in different forest systems. The study was conducted in three forest systems: two areas of homogeneous plantations (*P. nitens* and *E. urophylla*) and a native forest, located in the municipality of Vitória da Conquista. In the areas, four plots were demarcated for the evaluation of soil aggregates, total and occluded carbon stock. Within each plot, a trench was opened to a depth of one meter in which soil samples were collected at six depths. Land use and soil texture were determinants for the amount of COS stored, providing superior storage in *E. urophylla* and native forest plantation areas compared to *P. nitens* plantation areas. The distribution of aggregate classes between the *E. urophylla* plantation and the native forest followed the same pattern of carbon storage in the soil profile, due to the direct relationship that the aggregates maintain with the COS, while in the *P. nitens* values were lower compared to these two forest systems, with a predominance of carbon stabilization mechanisms that did not show a defined pattern in this study. Although the carbon occlusion in the evaluated systems represented a small portion of the carbon stored in the soil, in the native forest area there was greater physical protection of carbon and in the *E. urophylla* and *P. nitens* plantations this pattern was similar, indicating that such systems improve the physical protection of carbon in the soil, but by different mechanisms. Therefore, studies that help to understand carbon stabilization in low-residue, but high-quality forest plantations should be further encouraged, with an emphasis on carbon stabilization mechanisms in these systems.

Keywords: soil aggregates, *Eucalyptus urophylla*, *Pterogyne nitens*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. Plantios florestais no Brasil	14
2.2. Agregação do solo	15
2.3. Carbono orgânico do solo	17
2.4 Estabilização do carbono no solo.....	18
2.5. Fracionamento da matéria orgânica do solo	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Descrição da área de estudo	22
3.2. Amostragem do solo	22
3.3. Caracterização física do solo	23
3.4. Densidade do solo	24
3.5. Caracterização química do solo	24
3.6. Fracionamento em classes de agregados.....	25
3.7. Correção de areia dos agregados.....	26
3.8. Sonificação das classes dos agregados	26
3.9. Estoque de carbono orgânico	27
3.10. Análise estatística	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1. Estoque de carbono orgânico do solo	29
4.2. Distribuição das classes de agregados do solo.....	32
4.3. Carbono ocluso.....	35
5. CONCLUSÃO.....	38
6. REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

O solo é um meio heterogêneo, dinâmico e biologicamente ativo que desempenha funções essenciais para a manutenção dos ecossistemas terrestres, como o armazenamento e filtragem da água, ciclagem de nutrientes, *habitat* para a atividade biológica e armazenamento de carbono (VICTORIA et al., 2012). Dentre essas funções, o armazenamento de carbono é tido como um papel-chave, uma vez que influencia todas as demais funções e ainda é decisivo na regulação da dinâmica do clima da Terra (WIESMEIER et al., 2019; MAYER et al., 2020).

O carbono armazenado no solo está no centro das discussões a respeito das mudanças climáticas e aquecimento global, por constituir o maior reservatório desse elemento nos ecossistemas terrestres (SCHARLEMANN et al., 2014). Por esta razão, o solo é um dos principais sumidouros de carbono, capaz de mitigar os efeitos desses fenômenos, que tem potencial de pôr em risco a sobrevivência de todas as formas de vidas presentes na Terra (NAIR, 2019).

Globalmente, mais de 40% do carbono orgânico dos ecossistemas terrestres encontra-se armazenado em solos florestais (MAYER et al., 2020). Nesse sentido, o reflorestamento em larga escala e a redução do desmatamento são importantes estratégias para potencializar o sequestro e armazenamento de carbono no solo.

O Brasil possui a segunda maior área florestal do mundo com cerca de 497 milhões de hectares (SANTANA et al., 2021), dos quais cerca de 9,55 milhões correspondem a florestas plantadas, em sua grande maioria constituídas por espécies exóticas, principalmente do gênero *Eucalyptus* (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2021).

Ainda são reduzidas as áreas ocupadas por espécies nativas em plantios homogêneos no Brasil e, como resultado, ainda são escassos os estudos relacionados a mensuração do estoque de carbono nesses povoamentos. Apesar disso, existem espécies nativas com grande potencial de utilização em programas de reflorestamento no Brasil, a exemplo da *Pterogyne nitens* Tul., que reúne várias características favoráveis de adaptação e de qualidade da sua madeira.

Além da cobertura florestal, outro fator relevante para o aumento ou manutenção do carbono orgânico do solo (COS) são os mecanismos de estabilização da matéria

orgânica, que determinam o tempo de permanência do carbono no solo e minimizam a sua emissão para a atmosfera em curto período de tempo (MAYER et al., 2020).

Dentre os mecanismos de estabilização da matéria orgânica estão a formação de complexos organo-mineral, a recalcitrância intrínseca dos compostos e moléculas (CHRISTENSEN, 2000), a complexidade funcional da matéria orgânica (MO) (LEHMANN et al., 2020) e a oclusão no interior dos agregados (CHRISTENSEN, 2000), sendo este último considerado o mais importante (BAYER et al., 2000).

Os agregados são estruturas complexas formadas a partir da união das partículas primárias do solo (areia, argila e silte) com compostos orgânicos e agentes cimentantes (SIX et al., 2004). Esses compostos e agentes estão fortemente envolvidos no processo de estabilização do COS por oclusão em seu interior, criando um efeito de revestimento e isolamento que reduz a taxa de difusão de oxigênio dentro dos agregados (UMER e RAJAB, 2012) e funciona como barreira física limitando a atuação dos organismos decompositores (WIESMEIER et al., 2019).

Geralmente, os agregados do solo são classificados em macroagregados (>250 μm) e microagregados (250-53 μm), que representam compartimentos da matéria orgânica do solo (SIX et al., 2004). Os macroagregados promovem um maior armazenamento de COS do que os microagregados, entretanto este armazenamento é transitório. Em contraste, os microagregados promovem o sequestro de COS de longo prazo (BLANCO-CANQUI e LAL, 2004).

O armazenamento de carbono no solo e a sua oclusão interior dos agregados são importantes para a manutenção da qualidade dos ecossistemas terrestres e se faz necessário avaliar o potencial de sequestro e estabilização do carbono ao longo do perfil do solo, principalmente em plantios homogêneos com espécies nativas do Brasil. Assim, o presente estudo foi desenvolvido com base nas seguintes questões: (1) o acúmulo de carbono no solo sob influência de um plantio homogêneo de *P. nitens* é semelhante ao que ocorre em uma floresta nativa ou um plantio de eucalipto? (2) A distribuição dos agregados do solo e o carbono ocluído também é semelhante entre esses sistemas florestais? Portanto, assumiu-se como hipótese que o acúmulo de carbono, distribuição dos agregados e oclusão de carbono em agregados no perfil do solo é menor no plantio

de *P. nitens* comparado ao plantio de eucalipto e floresta nativa devido seu material vegetal ser mais decomponível e ser aportado em menor quantidade.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi quantificar o estoque de carbono orgânico do solo e o carbono ocluso no interior dos agregados, bem como a distribuição dos agregados do solo para compreender a dinâmica do carbono em diferentes sistemas florestais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Plantios florestais no Brasil

No Brasil, o plantio de florestas começou a mais de um século, tendo sido iniciado pelo engenheiro agrônomo português Edmundo Navarro de Andrade, que trouxe mudas de *Eucalyptus* spp. de outros países, que naquela ocasião foram empregadas para produção de madeira para dormentes de estradas de ferro. As espécies do gênero *Eucalyptus* se desenvolveram muito bem nas regiões em que foram introduzidas e acabaram se tornando as principais espécies do setor até os dias atuais (ANTONANGELO e BACHA, 1988; HORA, 2015).

Os plantios florestais brasileiros são considerados os mais produtivos do mundo, em termos de volume de madeira por área ao ano e por permitir uma das rotações mais curtas. Esse patamar atingido pelo setor florestal do brasileiro foi alcançado graças as características edafoclimáticas do país e principalmente pelo domínio tecnológico da silvicultura, a ponto de se tornar referência mundial neste quesito, o que possibilitou então transformar todas essas vantagens naturais em indicadores de produtividade e competitividade (IBÁ, 2019).

De acordo com o Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2021), a área total de florestas plantadas no Brasil corresponde a 9,55 milhões de hectares. Dentro deste total, 7,47 milhões de hectares estão ocupados por espécies do gênero *Eucalyptus*, 1,7 por espécies do gênero *Pinus* e apenas 0,38 milhão de hectares são ocupados com as demais espécies plantadas no país.

O Brasil possui a maior área plantada de eucalipto do mundo, representando cerca de 78,63% de toda área de florestas plantadas no Brasil (IBÁ, 2021). Uma das espécies de destaque é o *Eucalyptus urophylla* ST Blake, que foi introduzido no Brasil em meados de 1919, é originário do Timor e de ilhas indonésias adjacentes e se adaptou muito bem as condições edafoclimáticas locais, com alta taxa de crescimento, boa capacidade de rebrota, plasticidade operacional e resistência ao déficit hídrico e a algumas doenças (MOURA, 2004; FONSECA et al., 2010; PINTO et al., 2014).

A utilização de espécies nativas em programas de reflorestamento no Brasil ainda é restrita, apenas 100.000 hectares encontram-se implantados na forma de monocultivo,

mas existe um grande potencial a ser explorado, com destaque para a espécie *Pterogyne nitens* Tul. (Madeira nova, Amendoim-bravo, entre outros nomes populares), pertence a à família Fabacea (LORENZI, 2008) e reúne todas as credenciais para ser mais empregada em plantios florestais comerciais (BARRETO-GARCIA et al., 2019; DUCATTI, 2019). Esta espécie possui crescimento rápido e boa adaptabilidade a climas e solos de diversos tipos como os de textura arenosa até argilosa e também a solos calcários (CARVALHO, 2003).

Por ser uma espécie leguminosa, a *Pterogyne nitens* apresenta potencial para fixar nitrogênio pela simbiose com bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos, mecanismo que favorece o seu estabelecimento em solos com baixa fertilidade natural (FRANCO et al., 1995). Devido a sua boa adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, esta espécie se propagou por diversos domínios fitogeográficos, sendo encontrada do norte do Amazonas até o oeste de Santa Catarina, associada principalmente aos biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (PELLIZZARO et al. 2011).

Múltiplos são os usos de *Pterogyne nitens*, que por possui valor ornamental, é recomendada para arborização de vias urbanas e rodovias, bem como para a reposição de mata ciliar em locais com inundações periódicas e também na recuperação de áreas degradadas em associação com espécies pioneiras (LORENZI, 2008). A exploração econômica da madeira de *Pterogyne nitens* também pode ser uma boa alternativa, pois sua madeira pode ser empregada em diferentes finalidades como a confecção de móveis, laminados, tábuas para assoalho e lenha (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2008).

2.2. Agregação do solo

A agregação é um processo chave para estruturação do solo, que envolve inúmeros agentes biológicos, físicos e químicos que promovem a união de partículas minerais e orgânicas do solo, que são ligadas umas às outras pela ação de agentes cimentantes e de forças de coesão e adesão, dando origem a unidades estruturais complexas (TISDAL e OADES, 1982).

Os agregados formados a partir ação dos processos físicos e químicos são denominados fisiogênicos, enquanto que os agregados formados por maior ação de agentes biológicos como a fauna edáfica, microrganismos e das raízes das plantas são

denominados de biogênicos. A formação dos agregados fisiogênicos é considerada mais lenta quando comparada a biogênica (MOURA; et al., 2019).

Tisdal e Oades (1982) propuseram um modelo hierárquico inicial para explicar a formação dos agregados, em que as partículas primárias unidas pelos agentes cimentantes formam os microagregados (250 - 53 μm). Esses microagregados estáveis são unidos por agentes ligantes como fragmentos de plantas em decomposição, hifas de fungos e a pressão de crescimento radicular, originando os macroagregados (2000 - 250 μm).

No entanto, após a publicação do modelo hierárquico para a formação dos agregados, Oades (1984) formulou uma pequena alteração, mas muito importante na teoria da hierarquização dos agregados e que, posteriormente, foi confirmada por Six et al. (2000). De acordo com esse autor, os agentes ligantes temporários raízes e hifas de fungos, que mantem os macroagregados unidos, se decompõem em fragmentos revestidos com mucilagens incrustados com argilas, que dão origem a um núcleo de formação de um microagregado dentro do macroagregado (SIX et al., 2004).

Oades e Waters (1991) conduziram testes que permitiram gerar mais informações que contribuísse para um melhor entendimento do processo de agregação, estabelecendo que em solos com elevados teores de óxidos de ferro e alumínio o modelo para a formação dos agregados não se perpetua, pois os macroagregados são formados primeiramente ao redor da matéria orgânica, para posteriormente dar origem aos microagregados que são formados no interior dos macroagregados (SIX et al. 2000).

Os agregados do solo mantêm uma relação íntima com o carbono orgânico do solo, que é um dos seus principais agentes cimentantes, e que possui a capacidade de influenciar a sua resistência mecânica e a sua distribuição em diferentes tamanhos. Geralmente diminuição nos teores de carbono orgânico do solo podem resultar numa redução no número de agregados estáveis (ZHENG et al., 2018).

A estabilidade dos agregados é considerada um parâmetro muito importante para determinar a produtividade e a resistência à degradação do solo, sendo descrita como um parâmetro físico, complexo e, ao mesmo tempo, de fundamental importância para a manutenção da qualidade do solo. A agregação é capaz de influenciar uma ampla gama de propriedades do solo, como estabilização de carbono, infiltração e armazenamento de

água, aeração, porosidade do solo, compactação e resistência à erosão hídrica (AN et al., 2010).

Como a agregação e desagregação são processos dinâmicos que coexistem no solo, eventualmente, os agentes de ligação nos macroagregados se degradam, resultando em redução de estabilidade dos macroagregados e a liberação de microagregados estáveis, que se tornam matéria prima para o próximo ciclo de formação de macroagregados (SIX et al., 2004). Entretanto, quando ocorre o aumento no *turnover* de macroagregados induzido por distúrbios, o ciclo de formação dos agregados é interrompido (DENEFF et al., 2001).

Práticas de manejo como o cultivo mínimo, que promovem o mínimo de revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos vegetais de colheita na área de plantio florestal, assim como outros sistemas perenes, contribuem para o processo de estabilização dos agregados do solo (PAUSTIAN et al., 2000; ZHENG et al., 2018). Isso ocorre por que os resíduos que permanecem na área após a colheita favorecem a formação de macroagregados por ser uma fonte carbono para a atividade microbiana que produzirá os agentes cimentantes (ZHENG et al., 2018). Além disso, o *turnover* do macroagregado é aproximadamente duas vezes mais lenta do que nos plantios convencionais (SIX et al., 2004).

2.3. Carbono orgânico do solo

O solo desempenha funções vitais para a manutenção da vida na Terra, podendo-se destacar a produção de biomassa, retenção e filtragem de água, armazenamento e ciclagem de nutrientes, *habitat* para atividade biológica e estocagem de carbono. Esta última função é tida como chave, pois além de ser decisiva para a regulação do clima, é capaz de afetar fortemente todas as outras funções do solo (BAVEYE et al., 2016).

Nos ecossistemas terrestres o solo é o principal reservatório de carbono (2500 Pg C), podendo estocar aproximadamente quatro vezes mais carbono em comparação a biomassa vegetal e três vezes mais do que a atmosfera (MACHADO, 2005; SCHARLEMANN et al., 2014). O compartimento de carbono do solo é constituído pelo carbono orgânico (1500 Pg C) e o mineral (1000 Pg C), sendo que o carbono orgânico representa o balanço dinâmico entre o que é adicionado de carbono ao solo pela

vegetação e o que é perdido para a atmosfera pelos processos de decomposição e transporte para os oceanos onde se deposita sob a forma de carbonatos (MACHADO, 2005; ROSA et al., 2014).

O carbono orgânico do solo encontra-se principalmente sob a forma de matéria orgânica proveniente dos resíduos vegetais e animais em diferentes estágios de decomposição e da biomassa dos organismos do solo (MACHADO, 2005). No perfil do solo geralmente o carbono orgânico é estocado nas camadas mais superficiais e diminui exponencialmente em função do aumento em profundidade, portanto os maiores teores de carbono orgânico do solo encontram-se armazenado até 1 m de profundidade (ROSA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015;).

O carbono orgânico do solo (COS) é um indicador chave da qualidade do solo, sendo considerado a base da fertilidade do solo e também um dos mais importantes agentes cimentantes do processo de agregação do solo. Ou seja, o COS influencia toda a estruturação do solo, além de contribuir para uma maior retenção de água, maior porosidade e resistência à erosão. Desse modo, perdas de carbono orgânico do solo podem implicar no decréscimo da qualidade do solo e são extremamente difíceis de reverter em curto prazo (ALMEIDA e SANCHES, 2014; ZHENG et al., 2018).

2.4 Estabilização do carbono no solo

A manutenção do carbono orgânico no solo está intimamente relacionada a sua estabilização por meio de mecanismos como a formação de complexos organo-mineral, a recalcitrância intrínseca dos compostos e moléculas e a oclusão no interior dos agregados ou em poros muito finos que dificultam o acesso dos microrganismos (CHRISTENSEN, 2000), sendo que este último mecanismo é normalmente considerado o mais importante (BAYER et al., 2000).

A recalcitrância química do material orgânico depositado sobre o solo é definida por características de nível molecular dos compostos, como a composição elementar, os grupos funcionais e a conformação molecular, que influenciam sua degradação por microrganismos e por enzimas (PILLON et al., 2002). Os microrganismos degradam seletivamente compostos menos recalcitrantes, aumentando a recalcitrância média do resíduo remanescente (PILLON et al., 2002).

No entanto, esse conceito de recalcitrância química foi desafiado, pois a estrutura molecular por si só não controla a estabilização do carbono orgânico do solo, já que toda a matéria orgânica do solo é potencialmente decomponível e dependendo das condições ambientais e biológicas predominantes a mesma poderá ser decomposta em algum momento (SCHMIDT et al., 2011; DUNGAIT ET AL., 2012). Em decorrência disso, cada vez mais tem se dado mais ênfase a separação espacial de substratos e decompositores, estabilização de COS por meio de associação com minerais, e restrições ambientais do solo (DYNARSKI et al., 2020).

A proteção física proporcionada pelos agregados estáveis com os efeitos de revestimento e isolamento ao carbono orgânico do solo reduz suas perdas, seja por deixá-lo inacessível aos microrganismos decompositores, por reduzir a taxa de difusão de oxigênio dentro dos agregados, ou por mitigar as perdas induzidas pela erosão, que fragmenta os agregados e deixa o carbono mais acessível aos microrganismos. Portanto, a interação entre a estrutura do solo e os agregados determina a qualidade do estoque de carbono orgânico do solo (ZHENG et al., 2018).

A proteção fornecida pelos agregados do solo ao carbono orgânico é influenciada pelo *turnover* dos agregados. Quanto mais lento for o *turnover* dos macroagregados, maior o nível de proteção que ele dará ao carbono orgânico do solo (SIX et al., 2004). Um *turnover* intermediário dos macroagregados seria o ideal, pois o mesmo se faz necessário para ter formação de agregados e oclusão subsequente do carbono dentro dos agregados (SIX et al., 2004).

Mudanças no uso e no manejo dos solos têm provocado alterações significativas nos estoques de carbono orgânico do solo e gerado discussões a respeito da estabilização do carbono. Tais discussões resultam do fato do solo ser um dos principais compartimentos de carbono e da sua redução contribuir para o aumento da emissão de gases que acentuam o efeito estufa, agravando assim o aquecimento global e promovendo mudanças climáticas (ARORA, 2019; NAIR, 2019).

Dentro desse cenário, estimativas espaciais do potencial de armazenamento do carbono orgânico do solo tornam-se importantes aspectos para a tomada de decisão sobre o manejo da terra e para a busca de respostas a questões de distúrbios ambientais (LAFLEUR et al., 2018; WIESMEIER et al., 2019).

2.5. Fracionamento da matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é caracterizada como um material heterogêneo que difere em termos de composição, grau de disponibilidade para a microbiota e função no ambiente. Com o intuito de reduzir essa heterogeneidade, em estudos de MOS é realizado o seu fracionamento, buscando separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo suficientemente diferentes umas das outras (CHRISTENSEN, 2000; ROSCOE e MACHADO, 2002).

Diversos tipos de fracionamentos do solo podem ser empregados em estudos da MOS. A escolha do método mais apropriado geralmente é condicionada pelo objetivo do estudo que está sendo conduzido, seja para a caracterização e identificação química de componentes específicos da MOS (fracionamento químico) ou para a quantificação ou descrição de compartimentos da MOS importantes na ciclagem e liberação de nutrientes para as plantas (fracionamento físico) (ROSCOE e MACHADO, 2002).

O fracionamento físico da MOS consiste em quantificar o carbono orgânico do solo nos compartimentos funcionais, e geralmente são mais adotados do que o fracionamento químico (ELLIOTT e CAMBARDELLA, 1991; CHRISTENSEN, 2000; CAMPOS et al., 2016; MITTON et al., 2017; ZHENG et al., 2018; TROIAN et al., 2020), pois são considerados menos destrutíveis e mais relacionados com a função e estrutura da MOS *in situ* (ROSCOE e MACHADO, 2002).

Dentre os métodos de fracionamento físico do solo está o fracionamento em classes de agregados e o fracionamento densimétrico, que mescla dois métodos sendo baseado na diferença de densidade entre os compartimentos da MOS (método densimétrico propriamente dito) e em diferenças no tamanho de partículas (método granulométrico) (ROSCOE e MACHADO, 2002).

O método granulométrico é utilizado para a separação de complexos organo-minerais primários (areia, silte e argila), ou complexos organo-minerais secundários (agregados de diferentes classes de tamanho), por meio da técnica de peneiramento seco ou úmido (ROSCOE e MACHADO, 2002). Este método é classicamente utilizado em estudos de manejo do solo e em estudos de dinâmica e composição de diferentes reservatórios da MOS (HAILE et al., 2008; AN et al., 2010; GAMA-RODRIGUES et al., 2010; COSTA JÚNIOR et al., 2011; ZHENG et al., 2018).

O fracionamento em classes de agregados além de permitir avaliar o acúmulo compartimentado de carbono no solo nas diferentes classes de tamanho dos agregados, também permitir verificar a influência de diferentes tipos de manejo no sequestro de carbono no solo através seus efeitos na dinâmica da taxa de transformação de agregados no solo. (MADARI, 2004).

No fracionamento dos agregados, ocorre a sua separação em diferentes classes de tamanho estáveis aplicando uma força destrutiva, e essa separação pode ser feita por meio do fracionamento seco ou úmido. No fracionamento úmido é feita a imersão rápida das amostras secas ao ar em água, que simula a hidratação sob forte estresse de umedecimento e que posteriormente são passadas por uma sequência de peneiras com diferentes aberturas, separando os agregados em suas respectivas classes de tamanho (DENEFF ET AL., 2001; ASHMAN et al., 2003; MADARI, 2004).

A separação do solo em classes de agregados de diferentes tamanhos, baseia-se na hipótese hierárquica de formação e estabilização de agregados proposta por Tisdal e Oades (1982), e diferentes classes de tamanho de agregados são obtidas nesses estudos sobre a estabilização da MOS em agregados (MENDES e BOTTOMLEY, 1998; HELGASON , 2010; WANG et al., 2020) entretanto a maioria destes estudos tende a dividi-los em três classes: macroagregados (2000-250 μm), microagregados (250-53 μm) e silte + argila (>53 μm) (GAMA-RODRIGUES et al., 2010); VICENTE et al., 2019; MONROE et al., 2020; MONROE et al., 2021; PINHEIRO et al., 2021).

Embora o conceito do modelo hierárquico de formação dos agregados seja amplamente aplicado ao fracionamento em classes de agregados, ainda existem problemas com a padronização desse método e isso dificulta a comparação entres os trabalhos, mas a sua alta eficiência em expressar a qualidade da estrutura física do solo se sobressai em relação a problemas de padronização e justifica a sua ampla utilização (ASHMAN et al., 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido no município de Vitória da Conquista localizado na região sudoeste do estado da Bahia e, de acordo com a classificação Köppen (1918), possui clima subtropical de altitude (Cwb) e relevo que varia de plano a suave ondulado, com altitude média de 840 m. De modo geral, a temperatura varia de 15 °C a 28 °C e a pluviosidade média anual é de 712 mm. Os solos das áreas estudadas são classificados como Latossolos Amarelos Distróficos (SANTOS et al., 2006; SOUSA et al., 2013).

Foram estudados três sistemas florestais: dois plantios homogêneos (um de *Pterogyne nitens* e outro de *Eucalyptus urophylla*) e uma floresta nativa, sendo que o plantio de *Eucalyptus urophylla* e floresta nativa (14°56'39,46" S e 40°53'49,47" W) estão distantes cerca de 12 km em linha reta da área de *Pterogyne nitens* (14°53'01,06" S e 40°47'55,18" W).

O plantio de *Pterogyne nitens* foi implantado em meados de 2006, com o espaçamento 3 x 3 m, preparo do solo com gradagem e abertura de covas e adubação localizada (100 g de superfosfato simples). O plantio de *Eucalyptus urophylla* foi implantado no ano de 2005, também em espaçamento 3 x 3 e adubação localizada na cova (100 g de superfosfato simples). Em 2016 o povoamento foi desbastado e colhido e, desde então, vem sendo conduzido em regime de talhadia.

Na floresta nativa estudada observa-se vegetação classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana, conhecida na região como mata de cipó. Apresenta uma área íntegra considerável e encontra-se em estágio médio de regeneração. É uma floresta de porte relativamente baixo (árvores com altura entre 10 e 15 m), composta de mesofanerófitos parcialmente caducifólios, envolvidos por lianas, com predominância de ecótipos da família Fabacea, destacando-se o gênero *Parapiptadenia* (IBGE, 2012).

3.2. Amostragem do solo

Em cada uma das áreas, foram demarcadas quatro parcelas de 20 x 20 m (400 m²), assegurando-se uma distância mínima entre parcelas de 10 metros. Para avaliação do estoque de carbono total e ocluso, dentro de cada parcela foi aberta uma trincheira

com 1,0 x 1,0 m (laterais) x 1,2 m (profundidade), sendo coletadas amostras deformadas em seis profundidades: 0 - 10, 10 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80 e 80 - 100 cm. Em cada profundidade, foram retiradas quatro amostras simples (uma de cada parede da trincheira), que foram reunidas formando uma composta. Além das amostras deformadas, foram coletadas amostras indeformadas nas mesmas profundidades, com uso de anel volumétrico.

3.3. Caracterização física do solo

A caracterização física do solo foi realizada por meio de análise granulométrica das amostras, empregando o método da pipeta, conforme descrito por Teixeira et al. (2017), e a determinação das classes texturais foi feita conforme Santos et al. (2015), apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização física do solo nos diferentes sistemas florestais

Sist. Florestal	Prof. do solo (cm)	Comp. Granulométrica TFSA g/kg)				Classe Textural
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
<i>P. nitens</i>	0-10	560	130	40	270	Franco Argilo Arenosa
<i>E. urophylla</i>		350	120	70	460	Argila Arenosa
Floresta nativa		370	145	75	410	Argila Arenosa
<i>P. nitens</i>	10 20	560	140	30	270	Franco Argilo Arenosa
<i>E. urophylla</i>		330	120	90	460	Argila Arenosa
Floresta nativa		355	135	50	460	Argila Arenosa
<i>P. nitens</i>	20-40	515	145	60	280	Franco Argilo Arenosa
<i>E. urophylla</i>		340	130	70	460	Argila Arenosa
Floresta nativa		360	130	50	460	Argila Arenosa
<i>P. nitens</i>	40-60	455	155	40	350	Franco Argilo Arenosa
<i>E. urophylla</i>		290	150	70	490	Argila
Floresta nativa		300	130	70	500	Argila
<i>P. nitens</i>	60-80	405	135	50	410	Argila Arenosa
<i>E. urophylla</i>		255	135	40	570	Argila
Floresta nativa		250	130	50	570	Argila
<i>P. nitens</i>	80-100	380	150	30	440	Argila Arenosa
<i>E. urophylla</i>		225	135	50	590	Argila
Floresta nativa		225	135	50	590	Argila

Sist. Florestal = Sistema florestal; Prof. do solo = Profundidade do solo; Comp. Granulométrica TFSA = composição Granulométrica Terra Fina Seca ao Ar.

3.4. Densidade do solo

Para determinação da densidade do solo, as amostras indeformadas foram secas a 105 °C até peso constante e após esse procedimento as amostras foram processadas conforme descrição da Teixeira et al. (2017). A massa seca de cada amostra foi relacionada com o volume conhecido do anel volumétrico usando a equação (1). Os valores obtidos foram utilizados para calcular o estoque de carbono do solo.

$$D_s = \frac{M_s}{V} \quad (1)$$

Em que: D_s – Densidade do solo; M_s – Massa seca do solo; V - volume do anel volumétrico

3.5. Caracterização química do solo

Para caracterização química do solo, as amostras deformadas de solo foram analisadas para a determinação dos parâmetros: pH (água); P e K extraíveis por Mehlich-1; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1 mol L⁻¹. As análises seguiram os procedimentos descritos por Teixeira et al. (2017) (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização química do solo nos diferentes sistemas florestais

Sist. Florestal	Profundidade (cm)	pH	*mg/dm ³					*cmol _c /dm ³ de solo		
			P	K	Ca	Mg	Al			
<i>P. nitens</i>	0 - 10	5,20	3,00	0,28	1,30	1,10	0,40			
<i>E. urophylla</i>		4,50	1,00	0,23	1,00	0,80	2,40			
Floresta nativa		4,60	3,00	0,18	1,60	1,00	1,50			
<i>P. nitens</i>	10 - 20	4,90	2,00	0,10	0,80	0,70	0,80			
<i>E. urophylla</i>		4,10	2,00	0,10	0,40	0,50	3,50			
Floresta nativa		4,40	2,00	0,10	0,50	0,60	2,40			
<i>P. nitens</i>	20 - 40	5,00	1,00	0,08	0,80	0,70	0,70			
<i>E. urophylla</i>		4,10	1,00	0,08	0,30	0,40	2,70			
Floresta nativa		4,40	1,00	0,08	0,70	0,60	2,10			
<i>P. nitens</i>	40 - 60	5,00	1,00	0,06	0,80	0,70	0,90			
<i>E. urophylla</i>		4,30	1,00	0,05	0,30	0,20	2,70			
Floresta nativa		4,30	1,00	0,05	0,40	0,40	2,20			
<i>P. nitens</i>	60 - 80	5,20	1,00	0,05	0,80	0,70	0,70			

<i>E. urophylla</i>		4,40	1,00	0,03	0,20	0,30	2,80
Floresta nativa		4,40	1,00	0,03	0,30	0,20	2,30
<i>P. nitens</i>		5,00	1,00	0,03	0,90	0,60	0,80
<i>E. urophylla</i>	80 - 100	4,30	1,00	0,03	0,20	0,30	2,70
Floresta nativa		4,50	1,00	0,03	0,50	0,60	2,20

Sist. Florestal = Sistema florestal; Prof. do solo = Profundidade do solo; pH = pH em água; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio.

3.6. Fracionamento em classes de agregados

Para realizar o fracionamento em classes de agregados, as amostras deformadas de solo foram secas ao ar e passadas por uma peneira de 2,0 mm obtendo-se a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Na sequência foi adotada a técnica do peneiramento úmido (ELLIOTT, 1986), para separação dos agregados, onde foram pesadas subamostras de 50 g de solo (TFSA), que foram submersas em um Becker 250 ml com água destilada por cinco minutos.

As amostras submersas passaram por uma peneira de 250 µm com movimentos repetitivos de cima para baixo (aproximadamente 3 cm) 50 vezes e durante quatro minutos. A fração restante no topo da peneira de 250 µm foi coletada e denominada de macroagregados (2000-250 µm). Posteriormente, a fração que passou pela peneira (<250 µm) foi passada novamente em peneira de 53 µm repetindo-se o mesmo procedimento de peneiramento sendo obtida a fração macroagregados. A fração retida na peneira de 53 µm foi denominada microagregados (250-53 µm). Por fim, a fração que passou na peneira de 53 µm foi denominada de fração silte-argila (< 53 µm).

Todas as frações obtidas foram secas em estufa a 60 °C por 72 horas. Após essa etapa as amostras foram pesadas e efetuou-se o cálculo da percentagem do peso de cada fração (ELLIOT, 1986; GAMA-RODRIGUES e CADIMA-ZEVALLOS, 1991).

O diâmetro médio ponderado dos agregados corrigidos quanto a presença de areia também foi determinado e utilizado para indicar estabilidade da fração agregada, por meio da equação (2):

$$DMP = \sum_{i=1}^n D_i \times P_i \quad (2)$$

Em que: DMP - diâmetro médio ponderado; D_i - diâmetro médio da fração agregada i ; P_i - proporção do agregado i no peso total da amostra.

3.7. Correção de areia dos agregados

Devido as áreas estudadas apresentarem um elevado teor de areia foi realizado o procedimento de correção de areia dos agregados para que não houvesse uma superestimativa dos resultados da agregação. O procedimento foi realizado utilizando 2 g das frações de agregados do solo (macro e microagregados), nas quais foram adicionados 2 ml de hidróxido de sódio e 20 ml de água deionizada. A solução formada foi agitada por 16 horas em um agitador horizontal e passadas nas peneiras de 250 e 53 μm para a determinação na amostra dos macroagregados e apenas pela peneira de 53 μm para a amostra de microagregado. As massas obtidas foram utilizadas para corrigir a massa de areia correspondente ao tamanho agregado, usando a equação (3), conforme adotado por Vicente et al. (2019).

$$\text{ASLA (g)} = \text{Fração agregada (g)} * [1 - \text{Proporção de areia da fração agregada}] \quad (3)$$

Em que: ASLA - Agregado do solo livre de areia; Fração agregada - Peso da fração agregada obtido no fracionamento físico; Proporção de areia da fração agregada - Peso da areia / 2 g de amostra agregada.

3.8. Sonificação das classes dos agregados

A sonificação das amostras para a determinação do carbono ocluso foi realizada até a profundidade de 60 cm, seguindo o recomendado Monroe et al. (2016), que constaram que a partir da camada do solo de 40-60 cm não era mais observada a influência do atual sistema de uso da terra na origem do carbono.

Para este procedimento, foi pesado 5 g da fração macroagregados e 3 g da fração microagregados. Em seguida, as amostras foram submersas em 100 ml de água deionizada, sendo inserida uma sonda na profundidade de 10 mm, mantendo-se a temperatura da solução abaixo de 35 °C com o uso de bolsas de gelo. As amostras foram

sonificadas usando 500 J ml⁻¹ de força aplicada por 1min com um processador ultrassônico (ultrassom modelo UP400S Hielscher).

As amostras sonificadas foram passadas novamente pelas peneiras em que foram obtidas as classes de macroagregados e microagregados. O carbono orgânico do material que passou pela peneira de macroagregados e microagregados foi denominado de carbono ocluso e o carbono orgânico do material que ficou retido na peneira de carbono orgânico particulado (GAMA-RODRIGUES et al., 2010).

3.9. Estoque de carbono orgânico

Os teores de carbono orgânico total do solo (COS) e ocluso foram quantificadas por oxidação úmida com dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) em meio ácido, conforme metodologia descrito por Yeomans e Bremner (1988).

A quantidade de carbono orgânico total estocado até um metro foi calculada utilizando os teores de carbono, densidade do solo e espessura de cada camada, conforme equação (4).

$$\text{Estoque de COS} = \text{COT} \times D_s \times \text{ECS}_{\text{corrigida}} \quad (4)$$

Em que: COS - Carbono orgânico do solo (Mg ha⁻¹); D_s - Densidade do solo (Mg m⁻³) e ECS - Espessura da camada de solo corrigida (cm).

Os valores de estoque de COS foram corrigidos de acordo com a espessura da camada do solo, conforme proposto por Ellert e Bettany (1995). Para isso, considerou-se a espessura da camada de solo do tratamento de referência (floresta nativa) e, para calcular a espessura da camada de solo a ser corrigida, foi utilizada a equação (5).

$$\text{ECS} = \frac{\text{MR}-\text{M}}{\text{DS}} \times 100 \quad (5)$$

Em que: Ecs_{correção} - Espessura da camada a ser adicionada ou subtraída para correção do estoque (cm); MR - Massa do solo na respectiva camada de referência (Mg ha⁻¹); MT-

Massa de solo na respectiva camada de tratamento (Mg ha^{-1}) e DS- Densidade do solo (Mg m^{-3}).

O carbono ocluso estocado nos macros e microagregados foi calculado em duas etapas. Numa primeira fase foi calculado o conteúdo de carbono na fração de matéria orgânica intra-agregada (MAO_f), empregando-se a equação (6) e, em seguida o estoque de carbono da MAO_f por meio da equação (7).

$$C - \text{MAO}_f = (C * P_{\text{MAO}_f} * \text{PF}) / (50 * \text{iPf}) \quad (6)$$

Em que: Concentração de carbono mensurado em MAO_f ($\text{g } 50 \text{ g}^{-1}$); P_{MAO_f} = massa de MAO_f (g); WF - massa da fração do tamanho obtido no fracionamento físico; iPf - massa da fração de tamanho inicial (5 g para macro e 3 g para microagregaro)

$$\text{Estoque de C - MAO}_f = \text{conteúdo de carbono em MAO}_f * \text{PF} * \text{Ds} * \text{IPS} * 0.01 \quad (7)$$

Em que: Conteúdo carbono em AOM_f obtido na etapa 1; WF – a massa da fração do tamanho obtido no fracionamento físico; BD - densidade do solo em Mg m^{-3} ; IPS - intervalo de profundidade do solo

3.10. Análise estatística

Os dados foram testados quanto à homogeneidade (teste de Cochran e Bartlett, 5% de probabilidade) e normalidade (teste de Lilliefors, 5% de probabilidade). Após constatar dados paramétricos, os mesmos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) segundo um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Quando a análise preliminar dos dados mostrou resultado significativo no teste F ($p < 5\%$), foram realizadas comparações múltiplas das médias dos tratamentos pelo teste LSD de Fisher a 5% de significância.

Os dados foram analisados separadamente para todo o solo, em cada camada do solo e classe de tamanho da fração. As análises estatísticas foram realizadas usando o STATSOFT *Software Statística*® v.10.0 (STATSOFT, 1974 - 2009). Os gráficos foram construídos com o *software SIGMAPLOT*® v.11.0 (SYSTAT, 2010) (*Systat Software inc.*).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estoque de carbono orgânico do solo

O estoque de COS até um metro de profundidade foi maior na floresta nativa (240,94 Mg ha⁻¹) e no plantio de *E. urophylla* (194,25 Mg ha⁻¹) quando comparados ao plantio de *P. nitens* (123,14 Mg ha⁻¹) (Figura 1). A cobertura vegetal afetou diretamente o armazenamento de carbono no solo, por ter uma forte influência nas taxas de deposição e decomposição da matéria orgânica. Santos Neto et al. (2015) e Pinto et al. (2016) estudando as mesmas áreas experimentais do presente estudo observaram que a quantidade de material orgânico aportado ao solo e a taxa de decomposição foram semelhantes entre a floresta nativa e o plantio de *E. urophylla*, enquanto na área de *Pterogyne nitens* maior taxa e o menor aporte. Portanto, o armazenamento de carbono superior nesses dois sistemas florestais pode ser explicado pela similaridade das suas taxas de deposição e decomposição de serapilheira.

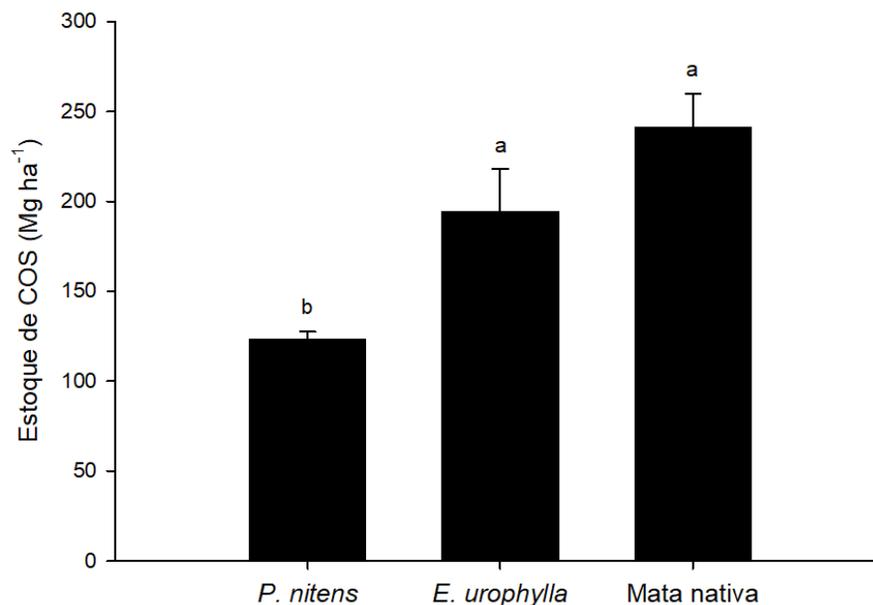


Figura 1: Estoque de carbono do solo (COS) em diferentes sistemas florestais até um metro de profundidade. Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

Por sua vez, o menor estoque de carbono na área de plantio de *P. nitens* quando comparado com os demais sistemas florestais deve ser consequência do menor aporte

(SANTOS NETO et al., 2015) e acúmulo de serapilheira sob o solo (BARBOSA et al., 2017). Na literatura ainda existem poucos dados de estoque de carbono em profundidade para a espécie *P. nitens*, mas Barbosa et al. (2017), analisando os estoques totais de carbono orgânico da serapilheira nos mesmos sistemas florestais deste estudo, também observaram uma quantidade inferior na área de plantio de *P. nitens* quando comparada a floresta nativa e o plantio de *E. urophylla*. Adicionalmente, Pinto et al. (2016) constaram que a serapilheira foliar da *P. nitens* possui um maior conteúdo de nitrogênio e menores relações C:N, CEL:N e POL+CEL:N, proporcionando a uma taxa de decomposição três vezes mais rápida quando comparado ao plantio de *E. urophylla* e a floresta nativa. Por esse motivo, é provável que os resíduos vegetais decompostos rapidamente pelos microrganismos do solo estejam contribuindo para menores valores de COS.

Outro fator que deve ter favorecido os maiores valores de armazenamento de carbono na área de plantio de *E. urophylla* e na floresta nativa em comparação a área de de *P. nitens* foi a textura do solo, que potencializou o estoque de COS pela existência de uma correlação positiva com o teor de argila e negativa com a fração areia, constatado por inúmeros trabalhos (AUGUSTIN e CIHACEK, 2016; WIESMEIER et al., 2019). Portanto, nos sistemas florestais que apresentaram maior estoque de carbono também foram observados solos com textura mais argilosa (*E. urophylla* e a floresta nativa), enquanto no de textura mais arenosa observou-se a menor quantidade de carbono estocado (*P. nitens*) (Tabela 1).

Os resultados de estoque de COS são próximos dos encontrados por Zhang et al. (2018) e Pinheiro et al. (2021) em áreas de plantios de *Eucalyptus* sp. Além disso, o segundo autor, comparando o carbono estocado em áreas de plantio de *Eucalyptus* sp. e floresta nativa, também observaram que esses dois sistemas florestais armazenaram quantidades similares de COS.

Na área de floresta nativa foi verificado maior estoque de COS nas camadas superficiais do solo até 40 cm, mas não foram observadas diferenças em comparação a área de *E. urophylla* na camada 0-10 cm. Por outro lado, na área de *E. urophylla* os valores de estoque de COS foram superiores em comparação ao quantificado na área de *P. nitens* nas camadas 0-10 e 20-40 cm, não sendo observada diferença entre esses dois

sistemas na camada 10-20 cm. Em profundidades superiores a 40 cm, não foram observadas diferenças entre os sistemas (Figura 2).

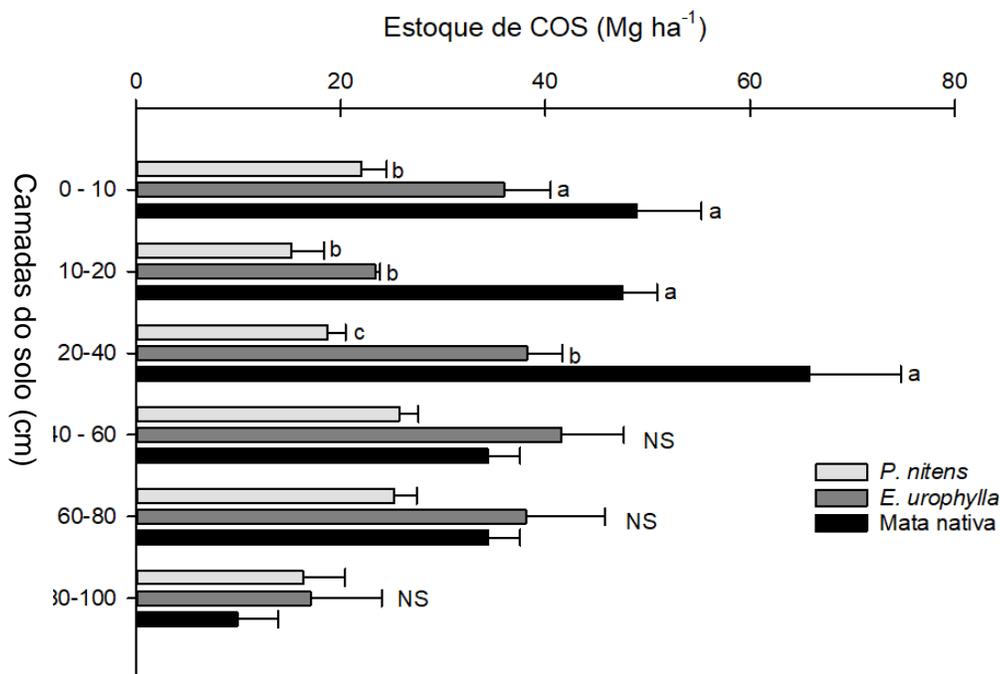


Figura 2: Estoque de carbono (COS) nas camadas do solo sob diferentes sistemas florestais até um metro de profundidade. Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de LSD ($P = 0,05$). NS = não há diferença significativa pelo teste F ($P = 0,05$).

Os resultados do estoque de COS em profundidade, de forma geral, demonstram que na área de floresta nativa foram observadas maiores quantidades de C, sendo esta área seguida pelas áreas de *E. urophylla* e *P. nitens*. Esses dados reforçam a importância dos mecanismos de entrada de C no solo, como a serapilheira e raízes finas, bem conhecido em sistemas florestais com alta adição de resíduos vegetais, principalmente nas camadas superficiais do solo (BLANCO-CANQUI e LAL, 2004; GRAY et al., 2016). Embora neste estudo não se tenha determinado os valores de serapilheira acumulada e nem os de massa de raízes finas, esses sistemas devem ter obedecido a tais mecanismos, que adicionam COS ou pelo menos minimizam as perdas de COS pela decomposição microbiana.

A medida que a influência da cobertura vegetal e das raízes finas como fontes de COS diminuiu em função do aumento da profundidade, as raízes pivotantes, que geralmente são mais lignificadas, passam a ter uma influência maior no armazenamento

de carbono, e isso resulta em uma decomposição mais lenta em comparação a outros resíduos vegetais depositados mais superficialmente, beneficiando assim o armazenamento de carbono no solo em profundidade (NAIR et al., 2009). Isso explica a similaridade do acúmulo de carbono entre os sistemas florestais a partir da camada de 40 - 60 até um metro de profundidade.

4.2. Distribuição das classes de agregados do solo

De maneira geral, a massa de macroagregados diminuiu em profundidade, enquanto a massa de microagregados e a fração silte+ argila aumentou. Esses resultados também foram observados por Gama-Rodrigues et al. (2010); Vicente et al. (2019); Monroe et al. (2020); Monroe et al. (2021) e Pinheiro et al. (2021).

Nas áreas de plantio de *P. nitens* houve uma redução na massa original dos macroagregados de cerca de 85,15% e de 59,01% para os microagregados, sendo está a maior redução na massa de agregados entre os sistemas florestais avaliados. É provável que essa redução mais drástica esteja relacionada a textura mais arenosa do solo desse sistema, quando comparado aos demais.

A quantidade de macroagregados na área de plantio de *E. urophylla* foi superior ao plantio de *P. nitens* em todas as profundidades e inferior a quantificada nas camadas superficiais (0-10 e 10-20 cm) e na camada 40 – 60 cm área de floresta nativa. Nas demais camadas do solo, as áreas de plantio de *E. urophylla* e de floresta nativa não foram verificadas diferenças nos macroagregados (Figura 1). A porcentagem de macroagregados na área de plantio de *P. nitens* foi inferior à de floresta nativa em todas as camadas do solo.

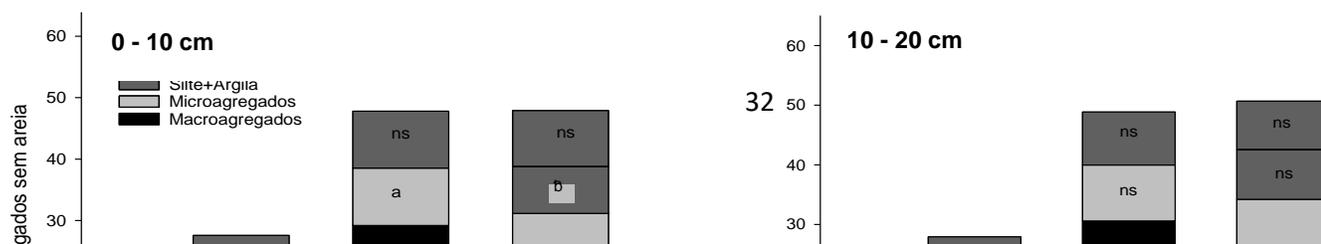


Figura 3: Distribuição das classes de agregados do solo sob sistemas florestais até um metro de profundidade. Valores seguidos pela mesma letra dentro de cada classe e cada profundidade não diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$). ns = não há diferença significativa pelo teste F ($p < 0,05$).

Na área de plantio de *E. urophylla* foi observada uma maior quantidade de microagregados em comparação a área de plantio de *P. nitens* nas camadas 0-10 cm e

a partir de 40 cm de profundidade. Na área de plantio de *E. urophylla* não foi verificada diferença em comparação a de floresta nativa nas profundidades estudadas, com exceção da camada 0-10 cm, na qual os valores foram superiores. Ainda nos microagregados, não foi observada diferença entre os sistemas nas camadas 10-20 e 20-40 cm. Para a fração silte e argila não foi verificada variação entre sistemas em todas as profundidades (Figura 3).

De forma geral, embora na floresta nativa tenham sido observados as maiores quantidades de macroagregados em comparação a área de *E. urophylla* nas camadas superficiais, pode-se verificar que a quantidade de macro e microagregados se aproximaram entre esses sistemas de forma geral. Na área de plantio *E. urophylla* foram encontrados os maiores acúmulos de resíduos orgânicos com relação C:N elevada, altos teores de lignina e polifenóis, que persistem por muito tempo sob o solo se decompondo lentamente ((BARBOSA et al., 2017). Grande acúmulo de serapilheira e baixas taxas de decomposição atribuídas a baixa qualidade nutricional e orgânica dos resíduos orgânicos são comumente relatadas em áreas de plantio de *Eucalyptus* (GAMA-RODRIGUES E BARROS 2002; COSTA et al., 2005; PINTO et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2020). Essa característica favorece o processo de agregação, pois o maior tempo de permanência do carbono no solo possibilita que atue como um núcleo de formação de microagregados e como agente ligante transitório e temporário dos macroagregados (SIX et al., 2004; BRONICK e LAL, 2005; BRAIDA et al., 2011).

A formação inferior de macroagregados em todas as camadas do solo e de microagregados na maioria delas no plantio de *P. nitens* também pode ser explicada por meio da relação direta da agregação como a matéria orgânica. Quando há declínios no estoque de carbono é observada uma redução na formação de agregados do solo (ZHENG et al., 2018). Como exemplo, a área de plantio de *P. nitens* na qual se observou um menor armazenamento de carbono em comparação aos outros sistemas florestais, o que se refletiu em uma menor formação de agregados do solo.

Na área de plantio de *E. urophylla* e de floresta nativa foi verificado um diâmetro médio ponderado superior ao determinado na área de plantio de *P. nitens* em todas as camadas do solo, indicando que os agregados destes sistemas apresentam uma maior estabilidade do que os agregados do plantio de *P. nitens* (Tabela 3)

Tabela 3: Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo nos diferentes sistemas florestais até um metro de profundidade

Sistema Florestal	Diâmetro médio ponderado dos agregados (mm)					
	0 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
<i>P. nitens</i>	0,040 c	0,041 c	0,028 b	0,027 c	0,024 b	0,021 b
<i>E. urophylla</i>	0,086 b	0,090 b	0,077 a	0,061 b	0,059 a	0,058 a
Floresta nativa	0,092 a	0,100 a	0,080 a	0,070 a	0,056 a	0,057 a

A estabilidade do agregado apresentou uma forte correlação linear positiva com os teores de COS em todos os sistemas florestais estudados (figura 4), evidenciando que a estabilidade dos agregados do solo está diretamente correlacionada com o aumento da concentração de carbono no solo. A correlação entre esses indicadores mostra que quanto maior o teor de COS maior será estabilidade dos agregados devido à influência desses sistemas florestais (MONROE et al., 2021).

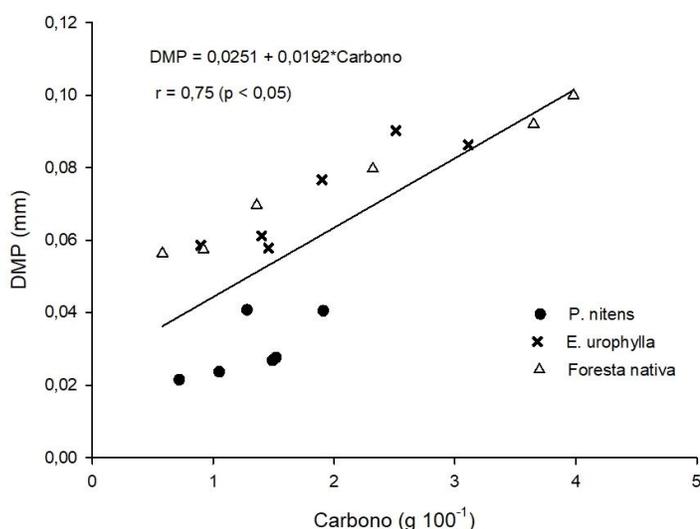


Figura 4: Diâmetro médio ponderado (DMP) em relação ao carbono orgânico do solo em 1 m de profundidade.

4.3. Carbono ocluso

O COS ocluso nos macroagregados variou entre os sistemas florestais ao longo do perfil do solo, sendo que na camada 0 - 10 cm a oclusão de carbono na área de plantio de *P. nitens* e de floresta nativa foram superiores a de plantio de *E. urophylla*. Já na camada 10 - 20 cm, para as áreas de plantios de *P. nitens* e *E. urophylla* os valores foram

iguais entre si e inferiores aos quantificados na área de floresta nativa, enquanto na camada de 40 - 60 cm somente na área de plantio de *P. nitens* os valores foram inferiores aos observados na área de floresta nativa (Tabela 4).

Tabela 4: Estoque de carbono ocluso nos macros e microagregados em diferentes sistemas florestais

Sistema Florestal	Profundidade (cm)	Carbono ocluso (Mg ha ⁻¹)	
		Macroagregados	Microagregados
<i>P. nitens</i>	0 - 10	1,96 a	0,30 ns
<i>E. urophylla</i>		1,05 b	0,16 ns
Floresta nativa		2,22 a	0,21 ns
<i>P. nitens</i>	10 - 20	0,52 b	0,28 ns
<i>E. urophylla</i>		0,10 b	0,14 ns
Floresta nativa		1,92 a	0,27 ns
<i>P. nitens</i>	20 - 40	2,30 ns	1,04 ns
<i>E. urophylla</i>		2,17 ns	0,63 ns
Floresta nativa		1,91 ns	0,50 ns
<i>P. nitens</i>	40 - 60	0,53 b	1,65 a
<i>E. urophylla</i>		0,94 ab	0,80 b
Floresta nativa		1,29 a	1,20 ab

Na maioria das camadas do solo, os macroagregados nas áreas de plantios de *P. nitens* e *E. urophylla* apresentaram valores de carbono ocluso semelhante entre si, padrão somente não observado para a camada de 0–10 cm que pode ser atribuída ao maior teor de areia nas frações de macroagregados do solo. A impossibilidade metodológica da correção do teor de areia das frações oclusas dos agregados do solo pode ter levado a uma superestimativa do valor desta variável no plantio de *P. nitens*, especialmente nesta camada do solo, sendo esse erro potencialmente reduzido em profundidade em função da diminuição do teor de areia (Tabela 1).

No perfil do solo, os maiores valores absolutos de carbono ocluso nos macroagregados na área de floresta nativa demonstra que não houve impedimentos para que ocorresse o processo natural da estabilização do carbono no interior dos agregados. Em ambientes naturais, a baixa ocorrência de distúrbios na agregação do solo mantém lento o *turnover* de macroagregados (SIX et al., 2004), que permite a formação de microagregados dentro dos macroagregados e o sequestro de carbono a longo prazo (PLANTE e MCGILL, 2002).

O carbono ocluído nos microagregados foi igual entre os sistemas avaliados, com exceção à camada de 40-60 cm, na qual foi observado um maior valor na área de plantio de *P. nitens* quando comparada a de plantio de *E. urophylla*, entretanto esses dois sistemas florestais não diferiram da área de floresta nativa (Tabela 3).

O estoque de carbono ocluído nos macros e microagregados foi de aproximadamente 7,5% (4,6% de macro e 2,9% de microagregados) em comparação ao estoque total de carbono do solo no plantio de *P. nitens*. Já na área de plantio de *E. urophylla* foi 3,5% (2,6% de macro e 0,9% de microagregados). Maiores valores foram encontrados na área de floresta nativa com aproximadamente 5,0% (3,2% de macro e 1,8% de microagregados) de carbono ocluído (Figura 4).

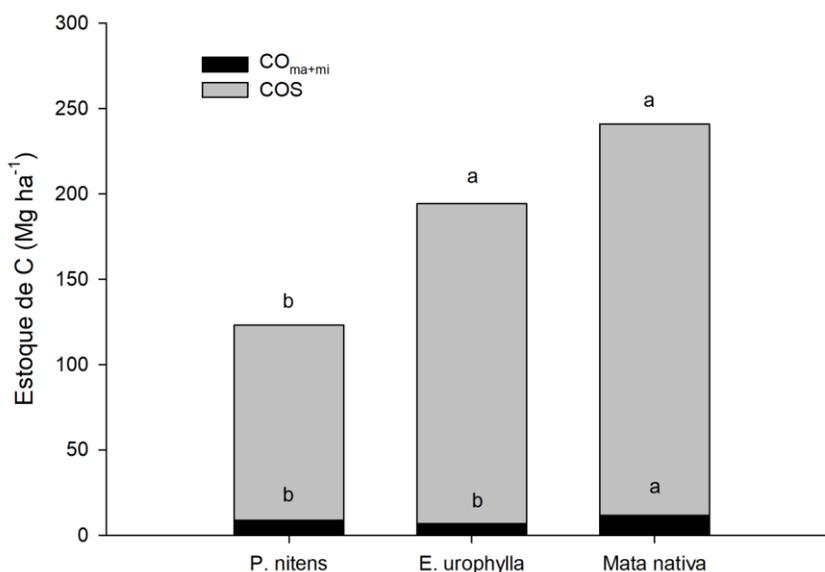


Figura 5: Contribuição de CO_{ma+mi} no carbono orgânico total do solo (COS) até 60 cm. CO_{ma+mi} = Carbono ocluído nos macroagregados + microagregados. Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

Embora na área de plantio *E. urophylla* tenha sido verificado um estoque de carbono similar ao da área de floresta nativa e superior a de plantio *P. nitens*, esse padrão não refletiu em uma oclusão de carbono semelhante ao sistema de referência (área de floresta nativa), indicando que a proteção física do carbono no interior dos agregados é condicionada por mecanismos diferentes. Proporcionalmente, na área de plantio de *P. nitens* foi observada a maior porcentagem de carbono protegido no interior dos agregados e isso demonstra uma maior capacidade da estabilização de carbono no solo

nesse sistema. Uma vez que os resíduos vegetais depositados sobre o solo pela *P. nitens* são rapidamente decompostos por serem menos recalcitrantes (PINTO et al., 2016) esperava-se um *turnover* de agregados mais acelerado, que levaria a uma menor quantidade de carbono ocluso (SIX et al., 2004).

A quantidade de carbono ocluso nos agregados em relação ao carbono do solo como um todo demonstra que a maior parte do carbono estocado nesses sistemas encontra-se pouco protegida fisicamente no interior dos agregados. Isso evidencia a importância da manutenção de sistemas conservacionistas que minimizem a exposição do carbono estabilizado no solo e, com isso, ajudam a mitigar os efeitos do aquecimento global e mudanças climáticas.

5. CONCLUSÃO

O uso do solo (sistemas florestais) e a textura do solo foram determinantes para a quantidade de COS armazenado, propiciando armazenamento superior nas áreas de plantio de *E. urophylla* e floresta nativa em comparação a área de plantio de *P. nitens*. A distribuição das classes de agregados entre o plantio de *E. urophylla* e a floresta nativa seguiu o mesmo padrão de armazenamento de carbono no perfil do solo, devido a relação direta que os agregados mantêm com o COS, enquanto na área de plantio de *P. nitens*

os valores foram inferiores em comparação a estes dois sistemas florestais, predominando mecanismos de estabilização de carbono que não apresentaram um padrão definido neste estudo. Embora a oclusão do carbono nos sistemas avaliados tenha representado uma pequena parcela do carbono estocado no solo, na área de floresta nativa foi verificada uma maior proteção física do carbono e nas de plantios de *E. urophylla* e *P. nitens* este padrão foi similar, indicando que tais sistemas melhoram a proteção física do carbono no solo, porém por mecanismos distintos. Portanto, estudos que ajudam a entender a estabilização de carbono em plantios florestais de baixa adição de resíduos, mas de alta qualidade, devem ser mais encorajados, com ênfase nos mecanismos de estabilização de carbono nesses sistemas.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R.F.; SANCHES, B.C. Disponibilidade de Carbono Orgânico dos Solos no Cerrado Brasileiro. **Scientia Agraria Paranaensis**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 259-264, 30. 2014.

AN, S.; MENTLER, A.; MAYER, H.; BLUM, W. E. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. **Catena**, [S.I.], v. 81, n. 3, p. 226-233, 2010.

ANTONANGELO, A.; BACHA, C. J. C. As Fases da Silvicultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p. 207-238, 1998.

ARORA, N.K. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. **Environmental Sustainability**, V. 2, p. 95–96, 2019.

ASHMAN, Mr; HALLETT, P.D.; BROOKES, P.C. Are the links between soil aggregate size class, soil organic matter and respiration rate artefacts of the fractionation procedure? **Soil Biology and Biochemistry**, S.I., v. 35, n. 3, p. 435-444, 2003.

AUGUSTIN, C.; CIHACEK, L. J. Relationships Between Soil Carbon and Soil Texture in the Northern Great Plains. **Soil Science**, [S.L.], v. 181, n. 8, p. 386-392, ago. 2016.

BARBOSA, V.; BARRETO-GARCIA, P.; GAMA-RODRIGUES, E.; PAULA, A. Biomassa, Carbono e Nitrogênio na Serapilheira Acumulada de Florestas Plantadas e Nativa. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 24, p. 1-9, 2017.

BARRETO-GARCIA, P. A. B.; MATOS, P. S.; SANQUETTA, C. R.; MONROE, P. H. M. Inventory of Organic Carbon in a *Pterogyne nitens* Tul. plantation in Southwest Bahia, Brazil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 26, n. 4, 2019.

BAVEYE, P. C.; BAVEYE, J.; GOWDY, J. Soil “ecosystem” services and natural capital: Critical appraisal of research on uncertain ground. **Frontiers in Environmental Science**, Lausanne, v. 4, p. 41, 2016.

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

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Mechanisms of Carbon Sequestration in Soil Aggregates. **Critical Reviews In Plant Sciences**, [S.L.], v. 23, n. 6, p. 481-504, nov. 2004.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. Miguel. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (ed.). **Tópicos em ciência do solo Vol VII 2011**. Viçosa: SbcS, 2011.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, [S.L.], v. 124, n. 1-2, p. 3-22, jan. 2005.

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

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas (Informação Tecnológica), 2003. 1040 p.

CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil: structure, function and turnover**. Tijele: DIAS (DIAS Report. Plant Production, 30), 2000.

COSTA JÚNIOR, C.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CARAMRGO, P. B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono Total e $\delta^{13}\text{C}$ em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1241-1252, 2011.

COSTA G. S., GAMA-RODRIGUES A. C. D. A, CUNHA G. D. E. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Revista Árvore** v. 29, n. 4 p. 563 – 570, 2005

DENEF, K.; SIX, J.; PAUSTIAN, K.; MERCKX, R. Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil carbon stabilization: short-term effects of physical disturbance induced by dry, wet cycles. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.L.], v. 33, n. 15, p. 2145-2153, 2001.

DUCATTI, M. **Desempenho silvicultural de espécies nativas em plantações florestais no interior do estado de São Paulo**. 2019. 88 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Campus de Botucatu, Botucatu, 2019.

DUNGAIT, J. A. J.; HOPKINS, D. W.; GREGORY, A. S.; WHITMORE, A. P. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. **Global Change Biology**, [S.L.], v. 18, n. 6, p. 1781-1796, 13 mar. 2012.

DYNARSKI, K. A.; BOSSIO, D. A.; SCOW, Kate M. Dynamic Stability of Soil Carbon: reassessing the permanence of soil carbon sequestration. **Frontiers In Environmental Science**, [S.L.], v. 8, p. 1-14, 13 nov. 2020.

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

ELLIOTT, E. T. Aggregate Structure and Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Native and Cultivated Soils. **Soil Science Society of America Journal**, [s.l.], v. 50, n. 3, p. 627-633, 1986.

ELLIOTT, E. T.; CAMBARDELLA, C. A. Physical separation of soil organic matter. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 34, p. 407-419, 1991.

FONSECA, S. M., RESENDE, M. D. V., ALFENAS, A. C., GUIMARÃES, L. M., ASSIS, T. F., GRATTAPAGLIA, D. **Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto**. 1ªEd. Viçosa: UFV, 2010, 200p.

FRANCO, A. A.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. de; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida no solo: um modelo tecnológico. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 459-467, 1995.

GAMA-RODRIGUES, A.C., CADIMA-ZEVALLOS, A. Efectos de fertilización sobre sistema radicular de cação em suelos de "tabuleiros" del sur de Bahia, Brasil. **Turrialba**, v. 41, p. 135-141, 1991.

GAMA-RODRIGUES A. C.; BARROS N. F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no Sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, v. 26 n. 2, p. 193–207, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BALIGAR, V. C.; MACHADO, R. C. R. Carbon Storage in Soil Size Fractions Under Two Cacao Agroforestry Systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management**, [S.L.], v. 45, n. 2, p. 274-283, 2010.

GRAY, Jonathan M.; BISHOP, Thomas F.A.; WILSON, Brian R. Factors Controlling Soil Organic Carbon Stocks with Depth in Eastern Australia. **Soil Science Society Of America Journal**, [s. l.], v. 79, n. 6, p. 1741-1751, 2016.

HAILE, S. G., NAIR, P. R., e NAIR, V. D. Carbon storage of different soil-size fractions in Florida silvopastoral systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, n. 5, p. 1789-1797, 2008.

HELGASON, B. L.; WALLEY, F. L.; GERMIDA, J. J. No-till soil management increases microbial biomass and alters community profiles in soil aggregates. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 46, n. 3, p. 370-379, 2010.

HORA, A. B. Análise da formação da base florestal plantada para fins industriais no Brasil sob uma perspectiva histórica. **BNDES Setorial**, V. 42, p. 383 - 426, 2015.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA. **Relatório Ibá 2019**. São Paulo: Studio 113, 80 p. 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA. **Relatório Ibá 2021**. São Paulo: Studio 113, 93 p. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2a ed. Revisada e ampliada. Brasília: IBGE, 2012. 271p.

KÖPPEN, W. Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf. **Petermanns Geographische Mitteilungen**, Gotha, v. 64, p. 193-203. 1918.

LAFLEUR et al., 2018. B.; FENTON, N. J.; SIMARD, M.; LEDUC, A.; PARÉ, D.; VALERIA, O.; BERGERON, Y. Ecosystem management in paludified boreal forests: enhancing wood production, biodiversity, and carbon sequestration at the landscape level. **Forest Ecosystems**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 2018.

LEHMANN, J.; HANSEL, C. M.; KAISER, C.; KLEBER, M.; MAHER, K.; MANZONI, S.; NUNAN, N.; REICHSTEIN, M.; SCHIMEL, J. P.; TORN, M. S; WIEDER; W. R; KÖGEL-KNABNER, I. Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity. **Nature Geoscience**, [s. l], v. 13, p. 529-534, 2020.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil** Vol.01. 5ª edição. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda.2008.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e mitigação da mudança climática global: subtítulo do artigo. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MADARI, B. E. **Fracionamento de agregados**: procedimento para uma estimativa compartimentada do sequestro de carbono no solo. 22. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004. 10 p.

MAYER, M.; PRESCOTT, C. E.; ABAKER, W. E.A.; AUGUSTO, L.; CÉCILLON, L.; FERREIRA, G. W.D.; JAMES, J.; JANDL, R.; KATZENSTEINER, K.; LACLAU, J. Tamm Review: influence of forest management activities on soil organic carbon stocks. **Forest Ecology and Management**, [S.L.], v. 466, p. 118127, jun. 2020.

MENDES, I. C.; BOTTOMLEY, P. J. Distribution of a population of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* among different size classes of soil aggregates. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 64, n. 3, p. 970-975, 1998.

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

MONROE, P. H. M., GAMA-RODRIGUES, E. F., GAMA-RODRIGUES, A. C.; MARQUES, J. R. B. Soil carbon stocks and origin under different cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 221, 99-108, 2016.

MONROE, P. H. M.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; VICENTE, L. C. Carbon and Nitrogen Occluded in Soil Aggregates Under Cacao-Based Agroforestry Systems in Southern Bahia, Brazil. **Journal Of Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l], v. 21, n. 4, p. 1-14, 2021.

MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Brasil**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 12 p. 2004.

NAIR, Kodoth Prabhakaran. Climate Change and Agricultural Production. In: **Intelligent Soil Management for Sustainable Agriculture**. Springer, Cham. p. 315-318, 2019.
OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant And Soil**, [s. l], v. 76, p. 319-337, 1984.

OADES, J. M.; WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal Of Soil Research**, [s. l], v. 29, p. 815-828, 1991.

OLIVEIRA, A. M. D.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; NOVAES, A. B. D.; CARVALHO, F. F. D.; MEIRELES, I. E. D. S. Decomposição da serapilheira foliar em plantios de bambu, nim indiano e eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 845-855, 2020.

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

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, Et; HUNT, Hw. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, S.l., v. 48, p. 147-163, 2000.

PELLIZZARO, K.; JESUS, V. A. M.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; VIGANÓ, J. Superação da dormência e influência do condicionamento osmótico em sementes de

Pterogyne nitens TUL. (FABACEAE). Revista Caatinga, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 1-9, 2011.

PILLON, C. N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. **Dinâmica da Matéria Orgânica no Ambiente**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 41 p.

PINHEIRO, F. M.; NAIR, P.K. R.; NAIR, V. D.; TONUCCI, R. G.; VENTURIN, R. P. Soil carbon stock and stability under Eucalyptus-based silvopasture and other land-use systems in the Cerrado biodiversity hotspot. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 299, p. 113676, dez. 2021.

PINTO, D. S.; RESENDE, R. T.; MESQUITA, A. G. G.; ROSADO, A. M.; CRUZ, C. D. Seleção precoce para características de crescimento em testes clonais de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 251-257, 2014.

PINTO, H. C. A.; BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, F. G. R. B.; PAULA, A.; AMARAL, A. R. Decomposição da serapilheira foliar de floresta nativa e plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla* no Sudoeste da Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1141-1153, 2016.

PLANTE, A. F.; MCGILL, W. B. Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. **Soil and Tillage research**, v. 66, n. 1, p. 79-92, 2002.

ROSA, R.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 26, n. 2, 26 ago. 2014.

ROSCOE, R; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento Físico do Solo em Estudos da Matéria Orgânica**. Dourados: Embrapa Solos, p. 88, 2002.

SANTANA, M. C.; SOUZA, A. J.; PEREIRA, A. P. A. As florestas nativas e plantadas como agentes prestadores de serviços ecossistêmicos. In: CARDOSO, Eike Jurandy Bran Nogueira. **A sustentabilidade ambiental da agricultura e florestas tropicais: uma visão científica, ecológica, política e social**. Curitiba: Appris, 2021. Cap. 2. p. 1-161.

SANTOS H. G.; JACOMINE P. K. T.; ANJOS L. H. C.; OLIVEIRA V. A.; OLIVEIRA J. B.; COELHO M. R. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

SANTOS NETO, A. P.; BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; NOVAES, A. B.; PAULA, A. Produção de serapilheira em floresta estacional semidecidual e em

plantios de *Pterogyne nitens* Tull. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no sudoeste da Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 633-643, 30 set. 2015.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 170 p.

SCHARLEMANN, J. P.; TANNER, E. V.; HIEDERER, R.; KAPOS, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 81-91, fev. 2014.

SCHMIDT, M. W. I.; TORN, M. S.; ABIVEN, S.; DITTMAR, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSENS, I. A.; KLEBER, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; LEHMANN, J.; MANNING, D. A. C.; Nannipieri, P.; Rasse, D. P.; Weiner, S.; Trumbore, S. E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, [s. l.], v. 478, p. 49-56, 2011.

SIX, J.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no tillage agriculture. **Soil Biol. Biochem.** n. 32, p. 2099-2103, 2000.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil And Tillage Research**, [S.L.], v. 79, n. 1, p. 7-31, set. 2004.

SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; BARRETO, P. A. B.; JÚNIOR, V. C. Relações hipsométricas para *Eucalyptus urophylla* conduzidos sob regime de alto fuste e talhadia no Sudoeste da Bahia. *Scientia Plena*, v. 9, n. 4, 2013.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.

TISDAL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982

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

UMER, M. I.; RAJAB, S. M. Correlation between aggregate stability and microbiological activity in two Russian soil types. **Eurasian Journal Of Soil Science**, S.l, v. 1, p. 45-50, 2012.

VICENTE, L. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; MARCIANO, C. R. Organic carbon within soil aggregates under forestry systems and pasture in a southeast region of Brazil. **Catena**, [S.L.], v. 182, p. 104139. 2019.

VICTORIA, R.; BANWART, S. A.; BLACK, H.; INGRAM, H.; JOOSTEN, H.; MILNE, E.; NOELLEMEYER, E. The benefits of soil carbon: managing soils for multiple economic, societal and environmental benefits Foresight Chapter. In: BANWART, S. A., NOELLEMEYER, E., MILNE, E. (Eds.). *Emerging Issues in Our Global Environment*. UNEP: Nairobi, Kenya, 2012 p 19 – 33.

WANG, X., DIJKSTRA, F. A., YIN, L., SUN, D., & CHENG, W. Rhizosphere priming effects in soil aggregates with different size classes. **Ecosphere**, v. 11, n. 2, p. e03027, 2020.

WIESMEIER, M.; URBANSKI, L.; HOBLEY, E.; LANG, B.; LÜTZOW, M. V.; MARIN-SPIOTTA, E.; WESEMAEL, B. V.; RABOT, E.; LIEß, M.; GARCIA-FRANCO, N.; WOLLSCHLÄGER, U.; VOGEL, H.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil organic carbon storage as a key function of soils-a review of drivers and indicators at various scales. **Geoderma**, [S.L.], v. 333, p. 149-162, 2019.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications In Soil Science and Plant Analysis**, [S.L.], v. 19, n. 13, p. 1467-1476, out. 1988.

ZHENG, H.; LIU, W.; ZHENG, J.; LUO, Y.; LI, R.; WANG, H.; QI, H. Effect of long-term tillage on soil aggregates and aggregate-associated carbon in black soil of Northeast China. **PLoS One**, v. 13, n. 6, p. 1-18, 2018.