

ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO E NA BIOMASSA VEGETAL EM SISTEMA AGROFLORESTAL

Caroline Ariele Soares de Moraes¹, Matheus Vanzela¹, Karina Renostro Ducatti¹

¹Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – Nova Andradina - MS

caroline.moraes@estudante.ifms.edu.br, matheus.vanzela@ifms.edu.br, karina.ducatti@ifms.edu.br

Resumo

Este estudo teve como objetivo estimar o estoque de carbono no solo e na biomassa vegetal em sistema agroflorestal biodiverso e avaliar seu valor econômico como serviço ambiental, comparando-o com áreas de pastagem, sistema de plantio direto e um fragmento de vegetação nativa em Nova Andradina-MS. Utilizando equações alométricas para estimar a biomassa vegetal, calculou-se o estoque de carbono e o equivalente de dióxido de carbono (CO₂eq) para determinar seu valor em reais. O sistema agroflorestal recém-implantado apresentou um estoque de carbono de 3,3 toneladas por hectare e 12,1 CO₂eq, superando numericamente os demais sistemas, com renda anual estimada em R\$ 5.815,4 por hectare. Além disso, o solo sob sistema agroflorestal mostrou teores mais elevados de matéria orgânica e carbono orgânico. Assim, destaca-se o potencial dos sistemas agroflorestais não apenas na produção de alimentos, mas também como opção para geração de renda complementar pelos serviços ambientais prestados.

Palavras-chave: Crédito de carbono, Serviços ambientais, Equação alométrica.

Introdução

As alterações nos padrões climáticos têm impactos diretos e indiretos na produção de alimentos e na segurança alimentar. Nesse contexto, os sistemas agroflorestais oferecem a oportunidade de cultivar alimentos, enquanto fornecem uma variedade de serviços ambientais, sendo especialmente relevantes aqueles relacionados ao sequestro e fixação de carbono (KIRSCH & SCHNEIDER, 2016). Essa abordagem alinha-se às necessidades de adaptação e mitigação das mudanças climáticas, sendo necessário que se adotem medidas para reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE), colocando o desenvolvimento sustentável como uma prioridade (SOMARRIBA et al., 2013; ROVERE, 2016).

De acordo com estudos de Sharma (2013) e Nascimento (2016), sistemas agroflorestais biodiversos bem gerenciados têm o potencial de armazenar quantidades significativas de carbono na biomassa de arbustos e árvores em um curto período de tempo. Nesse processo, à medida que as árvores crescem, elas absorvem dióxido de carbono da atmosfera por meio da fotossíntese, convertendo-o em biomassa vegetal (BRACHTVOGEL et al., 2018).

No entanto, a dinâmica da quantidade de carbono armazenada varia de acordo com o desenho do sistema, as espécies arbóreas utilizadas e as características regionais do local, havendo uma escassez de informações sobre o potencial de estocagem de carbono em SAFs biodiversos, especialmente em determinadas regiões, como o estado de Mato Grosso do Sul (BRIANEZI et al., 2013; NASCIMENTO, 2016). Assim, torna-se importante realizar pesquisas que contemplem esse assunto, a fim de preencher essa lacuna.

Da mesma forma, especialmente em áreas tropicais, os solos são importantes reservatórios de carbono, sendo a matéria orgânica e o próprio teor de carbono orgânico influenciados pelas transformações ocasionadas pelos sistemas de manejo (RONQUIM, 2020). Em agroecossistemas, com menor revolvimento de solo e maior aporte de resíduos vegetais, menores variações de temperatura e umidade, proporcionam diferentes níveis de decomposição e afetam a qualidade do solo como um todo (ASSIS et al., 2015). Compreender as relações entre os potenciais de estocagem na biomassa vegetal e no solo poderá trazer importantes contribuições para a adoção de sistemas agroflorestais, do ponto de vista ambiental, e também econômico, através da valoração do serviço econômico prestado.

Desse modo, a presente proposta teve como objetivo estimar e valorar economicamente o estoque de carbono no solo e na biomassa vegetal arbórea e não arbórea em sistema agroflorestal, pastagem, sistema de plantio direto e fragmento de vegetação nativa no município de Nova Andradina – MS.

Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida no Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, campus Nova Andradina, sendo composta por quatro áreas próximas com diferentes sistemas de uso do solo: sistema agroflorestal diversificado recém implantado (6 meses), uma área de pastagem, uma área de plantio direto (SPD) e, como controle, um fragmento de vegetação nativa, em 4 repetições. Cada repetição foi composta por uma parcela de 10x10m (100 m²) para anotação da espécie, altura das árvores e diâmetro a altura do peito (TITO, et al., 2009). Para cada sistema de produção, a área total será padronizada em 540m², onde serão distribuídas as repetições.

Em cada área de estudo foi feita a estimativa da biomassa vegetal arbórea e não arbórea (kg.ha⁻¹), os estoques de

carbono ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), o cálculo do dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$), seguido da valoração econômica da biomassa vegetal, com resultados apresentados em real.

A quantificação da biomassa vegetal e do estoque de carbono foi feita com base em equações alométricas para o componente arbóreo, e via método direto para vegetação não arbórea, como plantas herbáceas e gramíneas. No fragmento de mata nativa e sistema agroflorestal, foram anotados o número de indivíduos, diâmetro e altura das espécies arbustivas e arbóreas. Com esses valores a estimativa de carbono utilizando equações alométricas específicas para grupos de espécies, sendo eles: espécies arbóreas em sistema agroflorestal - $B = \exp[3,1441 + 0,9719 \cdot \ln(\text{DAP}^2 \cdot \text{Ht})]$ (BROWN et al., 1989); espécies em áreas de mata nativa no estado de Mato Grosso do Sul - $B = 34,4703 - 8,0671 \cdot \text{DAP} + 0,6589 \cdot \text{DAP}^2$ (BROWN et al., 1989); e espécies com componente lenhoso pouco denso (Arecaceae, Musaceae e Caricaceae) - $B = \exp(-6,3798 + 0,877 \cdot \text{LN}(1/\text{DAP})) + 2,151 \cdot \text{LN}(\text{H})$ (SALDARRIAGA et al., 1988); onde: B=biomassa seca, kg; D=Diâmetro à altura do peito, em centímetros (cm); H=Altura total da árvore, em metros (m); LN=logaritmo natural.

Para cálculo da biomassa vegetal não arbórea (método direto), a vegetação arbustiva de pequeno porte foi coletada e submetida a secagem para obtenção da biomassa seca ($\text{t MS}\cdot\text{ha}^{-1}$). A partir da somatória dos valores de biomassa arbórea e não arbórea, foi calculado o total de toneladas de matéria seca por hectare ($\text{t MS}\cdot\text{ha}^{-1}$) e a quantidade de carbono por hectare ($\text{t C}\cdot\text{ha}^{-1}$) (TITO, et al., 2009). Com os valores da quantidade de carbono por hectare ($\text{t C}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi calculado o dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_2 \text{ eq}$), através da fórmula $\text{CO}_{2\text{eq}} = \text{EC} \times 3,67$; em que: $\text{CO}_{2\text{eq}}$ = dióxido de carbono equivalente, $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$; EC = estoque de carbono, em toneladas; 3,67 = fator de conversão (IPCC, 2006). Por fim, foi realizada a conversão do estoque de CO_2 para pelo valor corrente em dólar, de acordo com o SENDECO₂ (Sistema europeu de negociação de CO_2), com valores expressos em reais, segundo cotação do mês de referência do Banco do Brasil. Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas utilizando o teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Para determinação dos teores de matéria orgânica do solo (MOS) e carbono orgânico (CO) do solo, foram coletadas 4 amostras simples, de cada sistema de uso do solo, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, com auxílio de um trado (tipo holandês), dando origem a duas amostras compostas por tratamento, que foram encaminhadas para laboratório de análise de solos.

Resultados e Discussão

Os resultados de biomassa seca (kg), estoques de carbono (kg e t), redução do dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$)

e valores de créditos gerados (R\$), por hectare, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Biomassa seca (kg), estoques de carbono (kg e t), redução do dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$) e valores de créditos gerados (R\$), por hectare, em sistema agroflorestal (SAF), sistema de plantio direto (SPD), pastagem e fragmento de mata nativa (MATA).

Área	BS (kg)	C (kg)	C (t)	$\text{CO}_{2\text{eq}}$	R\$ ano ⁻¹
SAF	7446,4 a*	3282,3 a	3,3 a	12,1 a	5815,4 a
SPD	1074,8 b	515,9 b	0,5 b	1,9 b	914,0 b
PAST	5596,9 a	2686,6 a	2,7 a	9,9 a	4759,9 a
MATA	6777,0 a	3253,0 a	3,3 a	12,0 a	5763,4 a

Analisando numericamente, o SAF acumulou na biomassa vegetal acima do solo, 3,3 t de C por hectare, se igualando a área de mata nativa, o que corresponde a 12 CO_2 equivalente e uma renda aproximada de quase 6 mil reais por hectare ano. Considerando as características dos sistemas, a área de pastagem e sistema de plantio direto são áreas estabilizadas, sem componente arbóreo, e tem potencial limitado de incremento na estocagem de carbono acima do solo. Em relação ao SAF, considerando que corresponde a uma área recém-implantada, com apenas 6 meses, a área possui imenso potencial para o aumento da estocagem de carbono com o desenvolvimento e crescimento das árvores frutíferas e nativas plantadas em alta densidade, provavelmente ultrapassando os demais sistemas estudados.

Comparativamente, Oliveira et al. (2018), estudando 5 diferentes SAFs, com idades e números de indivíduos diferentes, observaram que SAFs mais antigos apresentaram diferentes estocagens e rendimentos econômicos, variando de 7,7 CO_2 equivalente em SAFs mais jovens até 26,06 em SAFs com idade superior a 10 anos, o que corrobora com as observações realizadas. Neste mesmo trabalho, apontam viabilidade econômica dos sistemas analisados, com um valor médio de R\$ 6.815,58 ao ano (Oliveira et al., 2018).

Vale salientar que a composição florística do SAF, a disposição e altura de plantas, e o manejo na área influenciam diretamente no potencial de estocagem de carbono nas plantas (NASCIMENTO, 2016). De todo modo, destaca-se a possibilidade de proporcionar incremento para a renda familiar de agricultores que optarem pelos SAFs como formas de produção agrícola, indo além da prestação de serviços ambientais pelo sequestro e estocagem de carbono nas plantas (OLIVEIRA et al., 2018).

Além da biomassa vegetal, o solo é um dos mais importantes reservatórios de carbono, sendo importante

complementar a análise com os dados relacionados a matéria orgânica do solo e carbono orgânico, atributos extremamente influenciados pelos sistemas de manejo (LORO et al., 2016). Os teores de matéria orgânica do solo e carbono orgânico para os diferentes sistemas de manejo podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Matéria orgânica do solo (MOS) e carbono orgânico (CO) em solo sob cultivo agroflorestal (SAF), pastagem (PAST), sistema de plantio direto (SPD) e mata em Nova Andradina – MS.

Área	MOS (g.dm ³)		C org (g.dm ³)	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
SAF	18,8	14,9	10,9	8,6
SPD	13,8	9,6	8,0	5,6
PAST	14,2	13,3	8,2	7,7
MATA	14,9	13,8	8,6	8,0

Em ambas as profundidades analisadas, numericamente, o sistema agroflorestal apresentou teores superiores aos demais sistemas de manejo, o que pode estar relacionado as constantes deposições de materiais oriundos de poda das plantas do SAF, cobertura dos canteiros com palhada, e o próprio microclima mais favorável a microbiota do solo (RONQUIM, 2020). Ressalta-se a capacidade de melhoria da qualidade do solo proporcionada pelo sistema agroflorestal, um sistema complexo que favorece a interação biológica entre os seres vivos, acelera os processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, contribuindo para o equilíbrio do sistema (IWATA et al., 2012).

Sobretudo, os sistemas agroflorestais, que possibilitam a produção de alimentos, combinando espécies de diferentes ciclos de vida e estratos, buscam simular e acelerar os processos que acontecem na natureza, otimizando os recursos produzidos pelo próprio ambiente e diminuindo, especialmente, a demanda por insumos externos, preservando os recursos naturais (REBELLO; SAKAMOTO; 2021).

Por fim, espera-se que as informações geradas pela pesquisa possam estimular a implementação de sistemas de produção sustentáveis como os sistemas agroflorestais, como uma opção estratégica para produtores rurais, contribuindo para atingir o Objetivo 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável, dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Considerações Finais

O sistema agroflorestal recém implantado apresentou 3,3 toneladas de carbono por hectare e 12,1 de CO₂ equivalente,

superando numericamente o fragmento de mata nativa, pastagem e sistema de plantio direto. O rendimento anual em créditos de carbono geraria R\$ 5.815,4 por hectare por ano, com potencial de incremento ao longo dos anos de desenvolvimento.

O estoque de carbono orgânico e teor de matéria orgânica do solo, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, também foi superior no SAF em comparação com os demais sistemas de manejo.

Referências

- ASSIS, P. C. R. et al. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.309-316, 2015.
- BRACHTVOGEL, C.; et al. Sistemas agroflorestais biodiversos: potencial para sequestro de carbono. **Cadernos de Agroecologia**, 2236-7934 – v.13, n.2, 2018.
- BRIANEZI, D.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; CASTRO, R. V. O.; BASSO, V. M. Allometric equations for estimating carbono furban trees in Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v.37, p.1073-1081, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000600009>.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, Lawrence, v. 35, p. 881- 902, 1989.
- IWATA, B. DE F. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 730–738, jul. 2012.
- KIRSCH, H. M.; SCHNEIDER, S. Vulnerabilidade social às mudanças climáticas em contextos rurais. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v.31,p.1-15, 2016. <https://doi.org/10.17666/319106/2016>.
- LORO, L.; et al. Caracterização de atributos químicos do solo em diferentes sistemas de manejo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, p. 1-12, 2016.
- NASCIMENTO, J. S. **Estudos multidisciplinares em arranjos agroflorestais biodiversos na região sudoeste de Mato Grosso do Sul**. 2016. 128 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócios). Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2016.
- OLIVEIRA, G. A.; SILVA, L. F.; AGOSTINHO, P. R.; SOARES, J. A. B.; SERRANO, M. R.; PEREIRA, Z. V.; NASCIMENTO, J. S.; PADOVAN, M. P. **Valoração econômica de sequestro de carbono em sistemas agroflorestais biodiversos no bioma cerrado**. In: SOUZA, C. S.; LIMA, F. S.; SABIONI, S. C. (Org) *Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável*. Editora Científica Digital, v.5, p.356-366, 2021. DOI: 10.37885/210504459.

REBELLO; J. F. S.; SAKAMOTO; D. G. **Agricultura sintrópica segundo Ernst Götsch**. Editora Reviver, 156 p., 2021.

RONQUIM, C. C. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 2.ed. - Campinas: Embrapa Territorial, 2020. 34 p.

ROVERE, E. L.; WILLS, W.; PEREIRA, A.; C. B. DUBEUX, S. H. F. CUNHA, et al. **Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil Até 2030** Sumário Técnico. [Technical Report] Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2016.

SALDARRIAGA, J. G., WEST, D. C.; THARP, M. L.; UHL C. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. **Journal of Ecology**, v.76, p.938-958, 1988.

SHARMA, A. B. An introduction to Agroforestry System. **Journal of Natural Sciences**, New York- NY, v. 1, n. 1, p. 35-41, 2013.

SOMARRIBA, E.; et al. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. **Agriculture Ecosystems Environment**, v.173, p.46–57, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013>

TITO, M. R.; CHACÓN, M. L.; PORRO R. **Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais**. 1. ed. Belém: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF)/Consórcio Iniciativa Amazônica (IA), 2009. 81 p.

CARBON STOCK IN SOIL AND VEGETAL BIOMASS IN AGROFORESTRY SYSTEM

Abstract: *This study aimed to estimate the carbon stock in soil and vegetal biomass in a biodiverse agroforestry system and assess its economic value as an environmental service, comparing it with pasture areas, no-till farming systems, and a fragment of native vegetation in Nova Andradina–MS. Using allometric equations to estimate vegetal biomass, carbon stock and carbon dioxide equivalent (CO₂eq) were calculated to determine its value in Brazilian Reais. The newly established agroforestry system showed a carbon stock of 3.3 tons per hectare and 12.1 CO₂eq, numerically surpassing the other systems, with an estimated annual income of R\$ 5,815.4 per hectare. Furthermore, the soil under the agroforestry system exhibited higher levels of organic matter and organic carbon. Thus, the potential of agroforestry systems is highlighted not only in food production but also as an option for generating additional income through the provided environmental services.*

Keywords: *Carbon credit, Environmental services, Allometric equation.*