



## Serviços Ambientais na Amazônia Ocidental: Estoques de Carbono em Sistemas Agroflorestais Com Seringueira

*Environmental Services in the Western Amazon: Carbon Stocks in Rubber Based Agroforestry Systems*

LENCI, Lucas Henrique Vieira<sup>1</sup>; MAIA, Emanuel<sup>2</sup>; TSUKAMOTO FILHO, Antonio de Arruda<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Mato Grosso, lucashenriquevl@unir.br; <sup>2</sup>Universidade Federal de Rondônia, emanuel@unir.br; <sup>3</sup>Universidade Federal de Mato Grosso, tsukamoto@unir.br.

**Resumo:** Este trabalho teve por objetivo determinar os estoques de carbono em dois sistemas agroflorestais com seringueira da Região Central de Rondônia, Amazônia Ocidental. Para tanto, realizou-se o inventário florestal mensurando o diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e a altura total de todos os indivíduos com DAP maior ou igual a 10 cm. O estoque de carbono da biomassa acima do solo do solo foi estimado por equações alométricas, o estoque da biomassa abaixo do solo foi determinado pela relação 4:1 entre parte área/raiz e o estoque de carbono do solo foi estimado pela determinação da densidade do solo e pelo teor de carbono orgânico do solo. Os estoques totais de carbono foram: 112,42 Mg ha<sup>-1</sup> no SAF 1 e 81,00 Mg ha<sup>-1</sup> no SAF 2. Os sistemas agroflorestais apresentam grande potencial para sequestro de carbono atmosférico e são eficientes alternativas de produção sustentável no contexto de mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Sequestro de Carbono, Mudanças Climáticas, Desenvolvimento Sustentável.

**Abstract:** This study aimed to determine carbon stocks in two rubber based agroforestry systems in the Central Region of Rondônia, Brazil, Western Amazon. For this, we conducted a forest inventory, measuring diameter at breast height (DBH) and total height of all individuals with DBH greater than or equal to 10 cm. Carbon stock of aboveground biomass was estimated by the allometric equations, carbon stock of belowground biomass was determined by the ratio 4:1, and soil carbon stock was estimated by determination of soil density and soil organic carbon content. Total carbon stocks were: 112.42 Mg ha<sup>-1</sup> in SAF 1 and 81.00 Mg ha<sup>-1</sup> in SAF 2. Agroforestry systems have great potential for carbon sequestration and are efficient alternatives of sustainable production in the context of climate change.

**Keywords:** Agroecology; Carbon Sequestration; Climate Change; Sustainable Development.

### Introdução

Sistemas agroflorestais (SAFs) compreendem o cultivo integrado de árvores, espécies agrícolas e/ou animais, seguindo determinado arranjo espacial e temporal (ALTIERI, Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 – V. 13, N. 2, Dez. 2018



2012). Devido esta complexidade, os SAFs são unidades de paisagens produtivas, que conseguem aliar a questão econômica com a conservação dos recursos naturais. Por esse motivo, esse sistema de produção é reconhecido pela Organização das Nações Unidas como estratégia para prestação de serviços ambientais e promoção do desenvolvimento sustentável (FAO, 2004).

Dentro do contexto de mudanças climáticas, os SAF são eficientes alternativas para auxiliar na redução e mitigação dos problemas relacionados aos gases de efeito estufa (GEE), considerando principalmente o potencial em sequestrar carbono atmosférico (FAO, 2004; NAIR et al 2009). Diversos estudos têm evidenciado que devido à complexidade estrutural e ecológica, os SAF estocam expressivas quantidades de carbono nos diferentes compartimentos (biomassa, serrapilheira, necromassa e carbono orgânico do solo) (NAIR et al., 2009; ABBAS et al., 2017; CARDINAEI et al., 2017).

Estimativas recentes apontam que cerca de 75% de todo o carbono estocado nas áreas agricultáveis encontra-se na biomassa de árvores e arbustos (ZOMER et al 2016). Além disso, o solo é outro compartimento que estoca expressivas quantidades de carbono, principalmente em manejos que realizam a contínua deposição de material vegetal (LAL et al., 2015). Portanto sistemas de cultivo que incorporam o componente arbóreo, como os sistemas agroflorestais, são importantes sumidouros de carbono, auxiliando efetivamente na mitigação das mudanças climáticas.

Contudo, esse potencial varia de acordo com o modelo, composição das espécies, idade, localização geográfica, fatores ambientais e práticas de manejo (JOSE, 2009). Portanto é imprescindível o levantamento de informações de sistemas agroflorestais em diferentes contextos e configurações, para definir quais as melhores práticas e técnicas de manejo que possam potencializar o sequestro de carbono atmosférico. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar os estoques de carbono do solo, da biomassa acima do solo e da biomassa abaixo do solo de dois sistemas agroflorestais com seringueira (*Hevea brasiliensis* Müll.Arg.) da Região Central de Rondônia, Brasil, Amazônia Ocidental.

## Metodologia

Foram selecionados dois sistemas agroflorestais com seringueira (SAF 1 e SAF 2) da Região Central de Rondônia. O clima da região é considerado do tipo Am segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, caracterizada por temperatura média anual de 25°C, altitude entre 200 e 400 m e precipitação total anual entre 2300 a 2500 mm (ALVARES et al., 2013). O solo predominante na região é o Cambissolo Háplico Ta



Eutrófico (CXve) (IBGE, 2006). Em relação a fitogeografia local, as áreas são caracterizadas por fragmentos de Floresta Ombrófila Aberta Aluvial e Floresta Ombrófila Aberta Submontana (IBGE, 2004).

O SAF 1 foi implantado há 29 anos com espaçamento de 5 x 3 m e compreende uma área de 1,41 hectare. A implantação do sistema baseou-se no consórcio de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müll.Arg.) com cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* K. Schum), além da presença em menor densidade de outras espécies como cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.), castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e palmeiras.

O SAF 2 também foi implantado há 29 anos com espaçamento de 5 x 3 e apresenta área total de 3,28 hectares. A composição florística deste sistema é marcada pelo predomínio de seringueira, mas com significativa presença de cupuaçuzeiro, bandarara (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong), embaúba (*Cecropia* sp.) e plantas de açaí (*Euterpe* sp.) em estágio inicial de desenvolvimento.

Realizou-se o inventário florestal dos sistemas através da identificação ao menor nível taxonômico e mensuração do diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e altura total de todos os indivíduos com DAP maior ou igual a 10 cm.

Para estimar a biomassa acima do solo, utilizou-se as equações alométricas (Equação 1 e 2) desenvolvidas por Higuchi et al. (1998) para as florestas de terra firme da Amazônia. Para estimar a biomassa abaixo do solo, utilizou-se a relação 4:1 existente entre a quantidade de biomassa acima do solo e a quantidade de biomassa abaixo do solo (MOKANY et al., 2006). Para conversão em estoques de carbono, assumiu-se que 50% da biomassa é carbono (IPCC, 2006).

$$P = 0,0336 \times \text{DAP}^{2,171} \times \text{ht}^{1,038} \quad (\text{DAP} < 20 \text{ cm}) \quad (\text{Equação 1})$$

$$P = 0,0009 \times \text{DAP}^{1,585} \times \text{ht}^{2,651} \quad (\text{DAP} > 20 \text{ cm}) \quad (\text{Equação 2})$$

em que: P = peso seco (em kg ind<sup>-1</sup>); DAP = diâmetro a 1,3m (em cm); ht = altura total (em m).

Para estimar o estoque de carbono do solo, realizou-se a abertura de quatro trincheiras em cada SAF para coleta de amostras deformadas e indeformadas de solo. As amostras indeformadas foram coletadas com cilindros metálicos nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm para determinação da densidade do solo, conforme metodologia de Donagema et al. (2011). As amostras deformadas foram coletadas nas



profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm para determinação do teor de carbono orgânico pela técnica de oxidação com dicromato de potássio. Então, por meio da metodologia de Veldkamp (1994) que utiliza os valores de teor do carbono e densidade do solo, efetuaram-se os cálculos de estoque total de carbono orgânico do solo (Equação 3) para as camadas de 0-20 e 20-40 cm.

$$\text{Est COS} = \frac{(C \times Ds \times e)}{10} \quad (\text{Equação 3})$$

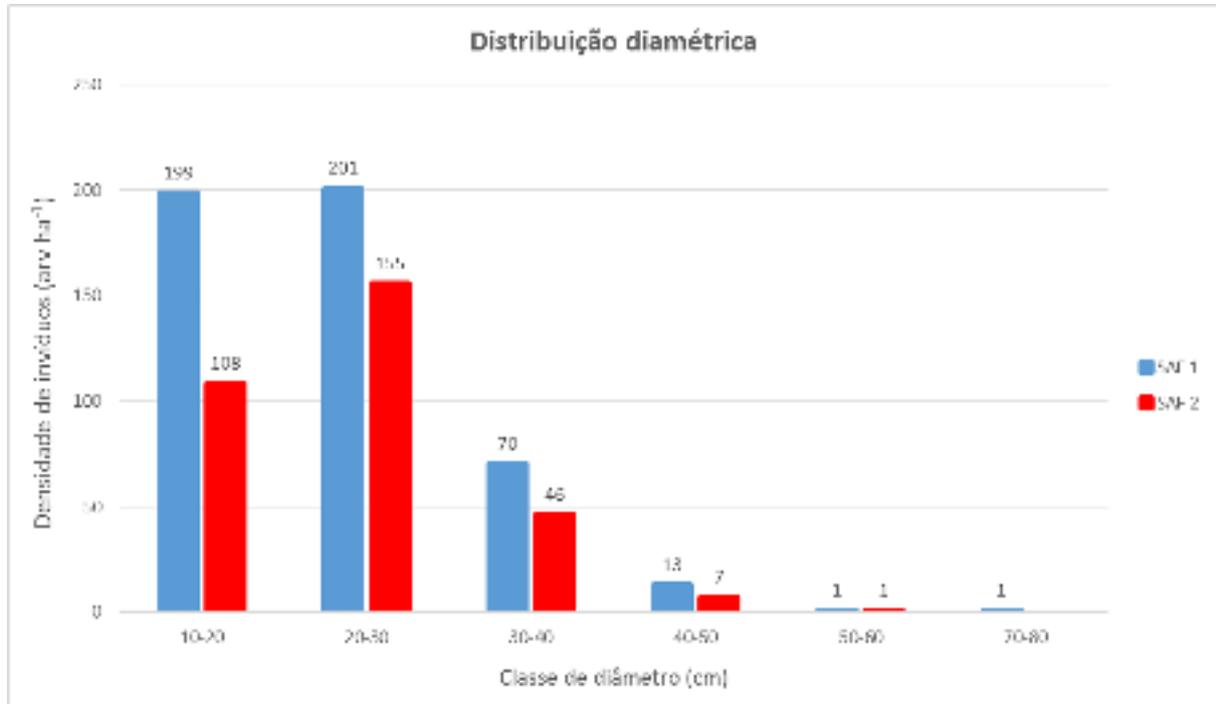
## Resultados e discussões

O SAF 1 apresenta estoque total de carbono 39% maior do que o SAF 2 (Tabela 1). Isso acontece em decorrência da maior ocupação espacial da área, visto que o SAF 1 apresenta maior densidade de árvores e maior área basal por hectare do que o SAF 2. Em consequência, a maior densidade de árvores propicia maior estoque de carbono na biomassa arbórea e também maior depósito de material vegetal sob a superfície do solo, aumentando a mineralização e estoque de carbono do solo (que foi 18% maior no SAF 1 do que no SAF 2).

Além disso, o estoque de carbono no SAF 1 também é influenciado pela maior proporção de indivíduos com maiores diâmetros, conforme observado na distribuição diamétrica (Figura 1). Por essa distribuição, observa-se que o SAF 1 apresenta 85 ind ha<sup>-1</sup> de indivíduos com DAP maior ou igual a 30 cm, enquanto que o SAF 2 apresenta 54 ind ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 1.** Estoques de carbono de sistemas agroflorestais da Região Central de Rondônia, Brasil.

	SAF 1	SAF 2
Densidade de árvores (ind ha <sup>-1</sup> )	484	318
Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	22,7	14,85
Carbono da biomassa acima do solo (Mg ha <sup>-1</sup> )	32,7	16,37
Carbono da biomassa abaixo do solo (Mg ha <sup>-1</sup> )	8,17	4,09
Carbono do solo (Mg ha <sup>-1</sup> )	71,55	60,54
Estoque total de carbono (Mg ha <sup>-1</sup> )	112,42	81,00



**Figura 1.** Distribuição diamétrica de sistemas agroflorestais da Região Central de Rondônia, Brasil.

De maneira geral, os resultados encontrados estão de acordo com outros trabalhos envolvendo estoques de carbono em sistemas agroflorestais (FROUFE et al., 2011; SOMARRIBA et al., 2013; ROCHA et al., 2014; RAMOS et al., 2018). No estudo realizado por Cotta et al. (2008) para estimar o estoque de carbono de um SAF composto pelo consórcio de seringueira e cacaueteiro no sul da Bahia, foi encontrado o valor de  $82,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ , resultado relativamente parecido com os do presente trabalho.

Contudo, ressalta-se que os valores de estoques de carbono variam muito nos diferentes tipos de sistemas agroflorestais, em função de fatores como modelo aplicado, composição das espécies, idade, localização geográfica, fatores ambientais e práticas de manejo adotadas (JOSE, 2009).

Dentre os fatores que afetam o estoque de carbono em sistemas agrícolas, o manejo do solo é um dos mais importantes. De maneira geral para todos os sistemas terrestres, o solo é o compartimento com maior estoque de carbono, sendo que o seu manejo é de fundamental importância para a mitigação dos gases de efeito estufa e controle das mudanças climáticas (LAL et al., 2015).



Sistemas conservacionistas, como os sistemas agroflorestais, não realizam o revolvimento do solo e, portanto, promovem a agregação do solo e a incorporação contínua de matéria orgânica. Por outro lado, sistemas que realizam o constante revolvimento do solo, como a maioria dos plantios convencionais, provocam a destruição da estrutura do solo, fragmentando as frações dos agregados do solo, decompondo a matéria orgânica e liberando carbono para a atmosfera (GRANDY; ROBERTSON, 2007).

Portanto, entende-se que sistemas agrícolas conservacionistas atuem como sumidouros de carbono, promovendo o sequestro e estoque de carbono atmosférico nos seus diferentes compartimentos. Sendo assim, dentro do contexto do efeito estufa e das mudanças climáticas, o sequestro de carbono se destaca entre um dos serviços ambientais mais importantes que os sistemas agroflorestais podem exercer.

## Conclusões

SAF adensados e com maior proporção de indivíduos de maiores diâmetros, como o SAF 1, estocam mais carbono nos diferentes compartimentos (biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo e carbono orgânico do solo). Em geral, os sistemas agroflorestais sequestram expressivas quantidades de carbono e são eficientes alternativas para a mitigação dos problemas ambientais relacionados aos gases de efeito estufa.

Portanto, considerando o contexto das mudanças climáticas e visando o sequestro de carbono atmosférico, recomenda-se a implantação de sistemas agroflorestais multiestratos, diversificados, com plantio adensado e maior proporção de indivíduos arbóreos.

## Referências bibliográficas

ABBAS, F.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; CERDÀ, A.; RIZWAN, M.; FARHAD, W.; EHSAN, S.; BAKHAT, H. F. Agroforestry: a sustainable environmental practice for carbono sequestration under the climate change scenarios — a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 12, p. 11177-11191, 2017.

ALTIERI, M. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, 2012.



ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

CARDINAEL, R.; CHEVALLIER, T.; CAMBOU, A.; BÉRAL, C.; BARTHÈS, B.; DUPRAZ, C.; DUPRAZ, C.; KOUAKOUA, E.; CHENU, C. Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 236, p. 243-255, 2017.

COTTA, M. K.; JACOVINE, L. A. G.; PAIVA, H. N.; SOARES, C. P. B.; VIRGENS FILHO, A. C.; VALVERDE, S. R. Quantificação de biomassa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. **Revista Árvore**, v. 32, n. 6, 969-978, 2008.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. CALDERANO, W. G. TEIXEIRA W. G.; VIANA, J. H. m. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

FAO – Food and Agricultural Organization. **Carbon Sequestration in Dryland Soils** (2004). Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-Y5738e.pdf>. Acesso em: 11 out. 2018.

FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G.; SEOANE, C. E. S. Potencial de sistemas agroflorestais multietratos para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de Floresta Atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 143-154, 2011.

GRANDY, A. S.; ROBERTSON, G. P. Land-use intensity effects on soil organic carbon accumulation rates and mechanisms. **Ecosystems**, v. 10, p. 58-73, 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de vegetação do Brasil** (2004). Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas\\_e\\_Mapas/Mapas\\_Murais/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/). Acesso em: 11 out. 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa exploratório de solos do Estado de Rondônia** (2006). Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>. Acesso em: 11 out. 2018.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** (2006). Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. Acesso em: 11 out. 2018.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1-10, 2009.



HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da Florestal Tropical Úmida de Terra Firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 153-166, 1998.

LAL, R.; NEGASSA, W.; LORENZ, K. Carbon sequestration in soil. **Environmental Sustainability**, v. 15, p. 79-86, 2015.

MOKANY, K.; RAISON, R. J.; PROKUSHKIN, A. S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biol**, v. 12, p. 84–96, 2006.

NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, p.10-23, 2009.

RAMOS, H. M. N.; VASCONCELOS, S. S.; KATO, O. R.; CASTELLANI, D. C. Above- and belowground carbon stocks of two organic, agroforestry-based oil palm production systems in eastern Amazonia. **Agroforestry Systems**, v. 92, p. 221-237, 2018.

ROCHA, G. P.; FERNANDES, L. A.; CABACINHA, C. D.; LOPES, I. D. P.; RIBEIRO, J. M.; FRAZÃO, L. A.; SAMPAIO, R. A. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. **Ciência Rural**, v. 44, n. 7, p. 1197-1203, 2014.

SOMARRIBA, E.; CERDA, R.; OROZCO, L.; CIFUENTES, M.; DÁVILLA, H.; ESPIN, T.; MAVISOY, H.; AVILA, G.; ALVARADO, E.; POVEDA, V.; ASTORGA, C.; SAY, E.; DEHEUVELS, O. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 173, p. 46-57, 2013.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 175-180, 1994.

ZOMER, R. J.; NEUFELDT, H.; XU, J.; AHRENDTS, A.; BOSSIO, D. A.; TRABUCCO, A.; NOORDWIJK, M.; WANG, M. Global Tree Cover and Biomass Carbon on Agricultural Land: The contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. **Scientific Reports**, v. 6, n. 29987, 2017.