

FLORESTAS SECUNDÁRIAS E BIOMASSA ACIMA DO SOLO NO BIOMA AMAZÔNIA

Fabiana da Silva Soares¹, Bruna Henrique Sacramento², Roberta Aversa Valente³, Hilton Luis Ferraz da Silveira⁴

^{1,2,4} Embrapa Territorial, Avenida Soldado Passarinho nº 303 – Jardim Chapadão – Campinas, São Paulo, ^{1,3} Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Sorocaba, Rodovia João Leme dos Santos, km 110, Sorocaba, SP, Brasil, ¹fabiana.soares@estudante.ufscar.br, ²bruna.sacramento@colaborador.embrapa.br, ³roavalen@ufscar.br e ⁴hilton.ferraz@embrapa.br.

RESUMO

O Bioma Amazônia é crucial para a regulação climática global, especialmente por seu papel no armazenamento de carbono, entretanto atividades como o desmatamento e a pecuária ameaçam essa função. O objetivo foi estimar e comparar a biomassa acima do solo (AGB) em áreas de floresta secundária (FS) em regeneração no estado de Rondônia, parte do Bioma Amazônia. Utilizaram-se dados de uso e cobertura do solo de 2018 do MapBiomias e estimativas de estoque de carbono com base em revisão bibliográfica. Dois cenários foram considerados: um sem FS (Cenário 1) e outro incluindo FS com regeneração de 1 a 5 anos (Cenário 2). Observou-se um aumento progressivo, embora não linear, no AGB nas classes de FS, além de uma diferença de 1,34 bilhões de toneladas de carbono entre os cenários. Os resultados destacam o papel das FS na regulação climática, conservação da biodiversidade e outros serviços ecossistêmicos, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo dessas áreas.

Palavras-chave — Floresta secundária, reservatório de carbono, software INVest.

ABSTRACT

The Amazon Biome is essential for global climate regulation, mainly due to its carbon storage function. However, activities such as deforestation and pasture threaten this function. This study aimed to estimate and compare aboveground biomass (AGB) in regenerating secondary forest (SF) areas in Rondônia, part of the Amazon Biome. We utilized Land use and land cover data from 2018 provided by MapBiomias and carbon stock estimates from a literature review. We considered two scenarios: one without SF (Scenario 1) and another that includes SF with 1 to 5 years of regeneration (Scenario 2). A progressive, though non-linear, increase in AGB was observed across SF classes, along with a difference of 1.34 billion tons of carbon between the scenarios. The findings underscore the role of SF in climate regulation, biodiversity conservation, and other ecosystem services, reinforcing the need for continuous monitoring of these areas.

Key words — Secondary forest, carbon pool, software INVest.

1. INTRODUÇÃO

O Bioma Amazônia desempenha um papel fundamental para o armazenamento de carbono terrestre, assim sua integridade e conservação são de extrema importância, para a regulação climática e outros serviços ecossistêmicos [1], [2].

As mudanças de uso e cobertura do solo, como desmatamentos e queimadas para usos antrópicos, são grandes emissores de gases de efeito estufa (GEE) para o Brasil, onde o Mato Grosso, Pará e Rondônia lideraram, os estados do Brasil com maiores emissões em 2022, sendo a pecuária a principal atividade emissora [3].

A associação dessas atividades antropogênicas impacta o balanço de carbono em diferentes reservatórios, mas principalmente no de biomassa acima do solo (AGB), composto por árvores vivas, seus troncos e folhas [4], [5]. Assim há uma redução da capacidade do bioma Amazônia de atuar como sumidouro, aumentando a mortalidade de árvores e reduzindo a fotossíntese [6], [7].

A capacidade de absorção de carbono de um sumidouro é influenciada tanto pela idade quanto pela composição das florestas em regeneração [8]. As florestas secundárias (FS) resultam do processo natural de regeneração da vegetação em áreas previamente submetidas ao corte raso de florestas primárias, em terrenos abandonados ou por meio de atividades de reflorestamento [9]. As funções das FS incluem a captura de carbono atmosférico e o fornecimento de habitats que favorecem o aumento da biodiversidade em paisagens fragmentadas [10]. Além disso, os serviços ecossistêmicos proporcionados pela vegetação secundária estão intimamente ligados à resiliência da biomassa dessas florestas.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estimar e comparar cenários para o Reservatório Biomassa Acima do Solo (AGB), considerando a Floresta Secundária em Regeneração, para bioma Amazônia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo é o estado de Rondônia inserida no Bioma Amazônia, com área total de 237.646,10 km² (Figura 1), sendo 99% no bioma Amazônia e 1% em área no bioma Cerrado/ ecótono [11].

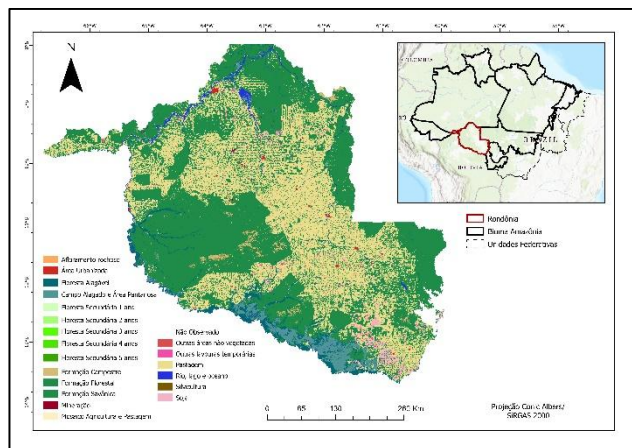


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo e uso e cobertura do solo do estado de Rondônia, dentro bioma Amazônia, Brasil

2.2. Base de Dados

2.2.1. Uso e cobertura do solo (LULC)

Os dados referentes ao uso e cobertura do solo e à vegetação secundária com idade entre 1 e 33 anos para o ano de 2018 são provenientes do Projeto MapBiomass (Coleção 9.0) e foram obtidos por meio da plataforma Google Earth Engine. Esses dados foram disponibilizados em formato matricial, com uma resolução espacial de 30 metros [12], [13].

2.2.2. Reservatório biomassa acima do solo (AGB)

Foram definidos dois cenários para a avaliação do carbono. No cenário 1, onde não há classes de floresta secundária, os valores de biomassa acima do solo foram extraídos da literatura [14], e para as classes floresta alagáveis (Id 6) [15] e afloramentos rochosos (Id 29) [16]. Já no cenário 2, onde foram considerados os valores de AGB para floresta secundária de 1 a 5 anos, os dados foram obtidos a partir de [2]. Nesta abordagem, as médias para o reservatório (t/ha) para cada ano de desenvolvimento da vegetação secundária, bem como para diferentes classes de uso e cobertura do solo (LULC) foram extraídas de arquivo matricial [17]. Essas informações foram organizadas em formato tabular (CSV) e correspondem a média/desvio padrão dos valores obtidos pelo polígono da FS.

2.3. Espacialização e Cenários do Estoque de Carbono

O cálculo e a espacialização dos estoques de carbono foram realizados por meio do Modelo de Armazenamento e Sequestro de Carbono, no software *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* (InVEST) [18]. Como entrada no modelo, inseriu-se os mapas de uso e cobertura para cada um dos cenários e valores de biomassa acima do solo, expressas em toneladas por hectare (t/ha) para cada uso existente nos mapas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de Floresta Secundária (FS) obtidos através do cruzamento das áreas em regeneração das classes de 1 a 5 anos e os valores do reservatório de biomassa acima do solo [2] para essas áreas, são representadas na Figura 2. Conforme aumenta o tempo da regeneração (de 1 para 5 anos), há uma tendência de aumento na média da biomassa acima do solo. Isso é esperado em florestas secundárias tropicais, que apresentam crescimento rápido pelas condições favoráveis de chuva e temperatura, além do acúmulo de biomassa, no processo de estabilização do dossel das florestas [19].

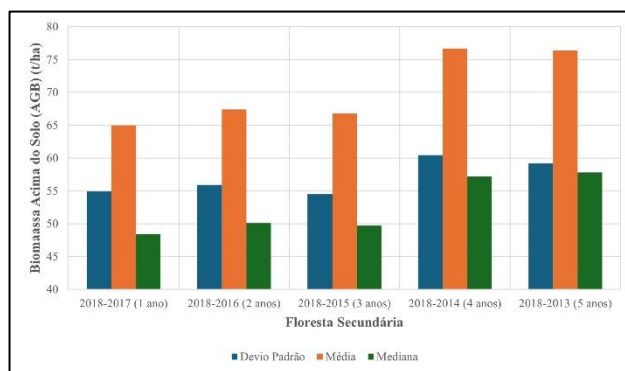


Figura 2. Reservatório biomassa acima do solo para floresta secundária de 1 a 5 anos, e seus valores de média, mediana e desvio padrão.

No entanto, no terceiro ano de regeneração a FS apresenta uma pequena queda em relação ao segundo ano (Figura 2). Isso pode ser consequência da sucessão florestal[20], usos anteriores da terra [13], alterações das dinâmicas climáticas como estresse hídrico (como os ocorridos em virtude do fenômeno El Niño entre 2014 e 2016), que podem reduzir o crescimento de árvores grandes [8], e as áreas ocupadas por FS que sofrem queimadas e desmatamento, pois em 2015 foi registrado 288 km² de derrubada de floresta na Amazônia.

Na Tabela 2 temos os valores do reservatório AGB para cada classe do LULC, no "Cenário 1", as formações florestais apresentam o maior valor de AGB (93,41 t/ha), seguidas por formações campestres (82,67 t/ha) e florestas

alagáveis (74,59 t/ha). As áreas urbanizadas, pastagens, e outras áreas não vegetadas possuem valores de AGB nulos ou muito baixos, refletindo pouca ou nenhuma cobertura vegetal. Em contraste, no "Cenário 2", a AGB tem um aumento em algumas classes, com a formação florestal chegando a 179,5 t/ha e a floresta alagável a 119,7 t/ha, o que reflete na melhoria de metodologia e novas técnicas para estimativa de carbono [2], [21]. Por outro lado, as classes formação savânica e campo alagado, mostram redução na AGB no "Cenário 2", sendo para as áreas alagadas possivelmente a falta de amostras [2].

Classes LULC	AGB Cenário 1 (t/ha)	Área (ha)	AGB Cenário 2 (t/ha)	Área (ha)
Não Observado	0	14,49	38,80	14,58
Formação Florestal	93,41	13.242.185,64	179,50	12.797.124,93
Formação Savânica	67,24	157.492,89	44,60	138.307,59
Floresta Alagável	74,59	808.585,47	119,70	787.144,59
Silvicultura	30,76	355,86	52,80	357,75
Campo Alagado e Área Pantanosa	74,22	712.018,08	31,70	717.194,97
Formação Campestre	82,67	246.662,73	43,60	238.603,05
Pastagem	4,10	8.219.315,25	29,60	8.308.482,57
Mosaico Agricultura e Pastagem	2,00	0,09	27,70	0,09
Área Urbanizada	0,00	51.680,79	0,00	51.582,96
Outras Áreas não vegetadas	0,00	683,01	0,00	604,98
Afloramento rochoso	0,00	72.672,21	0,00	72.971,28
Mineração	0,00	12.896,28	0,00	13.017,06
Rio, Lago e Oceano	0,00	243.429,48	0,00	243.206,91
Soja	8,90	202.332,24	13,10	205.988,49
Outras Lavouras Temporárias	2,10	116.776,44	12,9	116.372,59
Floresta Secundária 1 ano	-	-	64,99	49.314,69
Floresta Secundária 2 anos	-	-	67,38	43.019,46
Floresta Secundária 3 anos	-	-	66,76	43.589,07
Floresta Secundária 4	-	-	76,69	50.861,97

anos

Floresta Secundária 5 anos	-	-	76,37	45.805,59
----------------------------	---	---	-------	-----------

Tabela 2. Valores do Reservatório biomassa acima do solo (AGB) para cada uso e cobertura do solo

A AGB nas florestas secundárias variam de 64,99 t/ha no primeiro ano para 76,69 t/ha no quarto ano, o que reflete um aumento não linear ao longo dos cinco anos de regeneração. Áreas de pastagem e mosaico de agricultura também apresentam um aumento considerável de AGB no "Cenário 2" 29,6 t/ha e 27,7 t/ha, respectivamente, o que indica alguma recuperação da cobertura vegetal.

No cenário 2, as áreas ocupadas por FS apresentam formação florestal entre 81% e 87% da sua área respectivamente nas FS 1 a 5 anos, o que evidencia que florestas em regeneração quando classificadas geram erros e dúvidas, além de sofrer mais pressões antrópicas para desmatamentos, queimadas e ocupações[22].

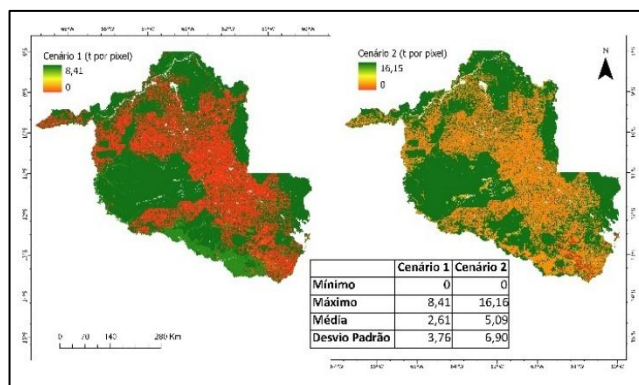


Figura 2. Cenários 1 e 2 para o reservatório biomassa acima do solo, e seus valores de mínimo, máximo, média e desvio padrão.

Na figura 2, o reservatório AGB apresentou os valores mínimo, máximo, média e desvio padrão para o cenário 1 os valores 0,00, 8,41, 2,61 e 3,76 e toneladas de Carbono por pixel e para o cenário 2 os valores 0,00, 16,15, 5,10 e 6,90 toneladas de Carbono por pixel. Os valores totais do reservatório AGB no Cenário 1 e 2 respectivamente são 1.433.924.991,01 e 2.773.154.487,35 toneladas de carbono (tC), e a diferença 1.339.229.496,34 tC.

Tais variações entre os cenários e seus valores devem-se às diferentes bases de dados e métodos de obtenção utilizados. A coleta de dados sobre os reservatórios de carbono, especialmente em áreas extensas, é complexa e onerosa. Estudos, como os realizados por [2], [19], ilustram a modernização progressiva dos métodos e sensores ao longo do tempo, promovendo maior refinamento e precisão nos dados obtidos.

4. CONCLUSÕES

No estado de Rondônia, a formação florestal e pastagem são destaques e oportunidades para restauração e conservação

florestal. Quanto às diferenças entre os valores do reservatório biomassa acima do solo entre cenários são em virtude da modernização e maior precisão dos métodos e sensores. A elaboração e criação de cenários futuros são importantes para subsidiar políticas públicas de conservação e restauração florestal.

Outro ponto importante foi a inserção de mais classes no LULC como as florestas secundárias, pois traz uma perspectiva mais realista para a regeneração florestal e para o reservatório de biomassa acima do solo. Em relação à floresta secundária existe uma influência direta do clima, desmatamento, queimadas e mudanças no LULC, impactando na heterogeneidade espacial da AGB, com áreas mais jovens apresentando menor biomassa em comparação com áreas mais maduras.

A priorização da regularização ambiental em áreas com potencial para regeneração natural ou reflorestamento é essencial para a restauração florestal. Florestas secundárias, com o passar do tempo, tornam-se importantes refúgios para a fauna e flora, além de atuarem como sumidouros de gases de efeito estufa, contribuindo para a regulação climática. Nesse contexto, medidas de gestão espacial, monitoramento e fiscalização da vegetação secundária se apresentam como alternativas viáveis para promover uma floresta mais sustentável e multifuncional.

5. AGRADECIMENTOS

Ao financiamento pela cooperação entre Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

6. REFERÊNCIAS

- [1] G. Tejada, E. B. Görgens, A. Ovando, and J. P. Ometto, "Mapping data gaps to estimate biomass across Brazilian Amazon forests," *For. Ecosyst.*, vol. 7, no. 1, p. 25, Dec. 2020.
- [2] J. P. Ometto et al., "A biomass map of the Brazilian Amazon from multisource remote sensing," *Sci. Data*, vol. 10, no. 1, p. 668, Sep. 2023.
- [3] SEEG, "Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil," SEEG, 2023.
- [4] IPCC, "Generic Methodologies Applicable To Multiple Land- Use Categories," IPCC, 2006.
- [5] T. M. Rosan et al., "Synthesis of the land carbon fluxes of the Amazon region between 2010 and 2020," *Commun. Earth Environ.*, vol. 5, no. 1, p. 46, Jan. 2024.
- [6] P. G. Taylor et al., "Temperature and rainfall interact to control carbon cycling in tropical forests," *Ecol. Lett.*, vol. 20, no. 6, pp. 779–788, Jun. 2017.
- [7] L. V. Gatti et al., "Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements," *Nature*, vol. 506, no. 7486, pp. 76–80, Feb. 2014.
- [8] L. V. Gatti et al., "Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change," *Nature*, vol. 595, no. 7867, pp. 388–393, Jul. 2021.
- [9] F. A. R. Matos et al., "Secondary forest fragments offer important carbon and biodiversity cobenefits," *Glob. Chang. Biol.*, vol. 26, no. 2, pp. 509–522, Feb. 2020.
- [10] S. Brown and A. E. Lugo, "Tropical secondary forests," *J. Trop. Ecol.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–32, Feb. 1990.
- [11] IBGE, "Mapa de Biomas do Brasil," 2004.
- [12] C. M. Souza et al., "Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine," *Remote Sens (Basel)*, vol. 12, no. 17, p. 2735, Aug. 2020.
- [13] C. H. L. Silva Junior et al., "Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil," *Sci. Data*, vol. 7, no. 1, p. 269, Aug. 2020.
- [14] F. da S. Soares, B. H. Sacramento, R. A. Valente, and H. L. Silveira, "Carbon Storage and Sequestration in Amazonian Rural Properties Supported by the Carbon Storage and Sequestration Model," in *Anais do 24o. Simpósio Brasileiro de Geoinformática- GEOINFO*, São José dos Campos, 2023.
- [15] O. Borges Pinto, A. C. A. Marques, and G. L. Vourlitis, "Aboveground carbon storage and cycling of flooded and upland forests of the Brazilian pantanal," *Forests*, vol. 11, no. 6, p. 665, Jun. 2020.
- [16] F. R. Scarano, "Rock outcrop vegetation in Brazil: a brief overview," *Rev. bras. Bot.*, vol. 30, no. 4, pp. 561–568, Dec. 2007.
- [17] J. P. Ometto et al., "L4A - Biomass map of the Brazilian Amazon and uncertainty," Zenodo, 2023.
- [18] Natural Capital Project, InVEST . Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, Stockholm Resilience Centre and the Royal Swedish Academy of Sciences., 2024.
- [19] S. C. Cook-Patton et al., "Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth," *Nature*, vol. 585, no. 7826, pp. 545–550, Sep. 2020.
- [20] M. Uriarte, J. R. Lasky, V. K. Boukili, and R. L. Chazdon, "A trait-mediated, neighbourhood approach to quantify climate impacts on successional dynamics of tropical rainforests," *Funct. Ecol.*, vol. 30, no. 2, pp. 157–167, Feb. 2016.
- [21] MCTI, "Terceiro Inventário Brasileiro De Emissões E Remoções Antrópicas De Gases De Efeito Estufa Relatórios De Referência Setor Uso Da Terra, Mudança Do Uso Da Terra E Florestas," Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2015.
- [22] J. M. Barbosa, E. N. Broadbent, and M. D. Bitencourt, "Remote sensing of aboveground biomass in tropical secondary forests: A review," *International Journal of Forestry Research*, vol. 2014, pp. 1–14, 2014.