



ASSIMILAÇÃO DE CARBONO EM *Bertholletia excelsa* BONPL. NA AMAZÔNIA SETENTRIONAL

Maria Eduarda Porato **Guimarães**¹; Gabriel **Assis-Pereira**²; Alessandra Regina Aguilar **Voigt**³;
Marcus Vinicius Stenico da **Silva**; Carolina Volkmer de **Castilho**⁵; Mário **Tomazello-Fo**⁶; Patrícia
da **Costa**⁷

Nº 24410

RESUMO - *As florestas tropicais oferecem uma gama de serviços ecossistêmicos e recursos naturais, como os produtos florestais não madeireiros (PFNM). A castanheira-da-amazônia (Bertholletia excelsa) possibilita a exploração de sua semente, como PFNM importante para a subsistência de povos e comunidades tradicionais, além de agricultores da região Amazônica. Embora exista a importância econômica e histórica desse produto, a cadeia produtiva ainda enfrenta alta desvalorização. A bioeconomia e o mercado de carbono emergem como alternativas para agregar valor a esta cadeia, destacando o papel do sequestro de carbono por florestas e consequentemente da relevância de sua manutenção frente a outros usos da terra. Este estudo visa elaborar um modelo de perfil de densidade de castanheiras-da-amazônia localizadas na Amazônia Setentrional, no estado de Roraima, e analisar a dinâmica de assimilação de carbono dessa floresta, considerando-se o horizonte temporal de 10 anos. Observou-se, para a parcela, incremento médio de 6 cm de diâmetro, correspondendo a um aumento de assimilação de gás carbônico de, aproximadamente, 39,3 toneladas por hectare. Em termos monetários, no período de 10 anos, o castanhal sequestrou 382,00 US\$/ha, equivalente a 2.066,37 R\$/ha, em uma média de 207,00 R\$/ano.ha. O valor monetário atribuído ao sequestro de carbono em castanhais é pouco significativo em comparação com outros serviços prestados como provisão de alimentos e desmatamento evitado. Para garantir a viabilidade econômica da conservação e o desenvolvimento sustentável da Amazônia, é fundamental que políticas públicas estabeleçam valores mais justos para o pagamento do carbono sequestrado em sistemas naturais como as florestas com castanhais.*

Palavras-chaves: bioeconomia, mercado de carbono, sequestro de carbono, densitometria de raios X, biomassa lenhosa, castanheira-da-amazônia

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia Florestal e Licenciatura em Ciências Agrárias. ESALQ/USP. Piracicaba-SP. maporato@usp.br

2 Colaborador, Pós-doutorando do projeto Fapesp BIOTA-CAMPOS. ESALQ/USP Piracicaba-SP.

3 Colaboradora: Mestre em Botânica pela Universidade Federal do Paraná, Bolsista DTI-A do Projeto PELD-FORR. Pesquisadora vinculada à ESALQ/USP. Piracicaba-SP.

4. Colaborador: Engenheiro Florestal pela Universidade de São Paulo. ESALQ/USP. Piracicaba-SP.

5 Colaboradora: Pesquisadora da Embrapa Roraima (EMBRAPA-CPAF RR), Boa Vista - RR.

6 Co-orientador: Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

7 Orientadora: Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; patricia.da-costa@embrapa.br.



ABSTRACT - Tropical forests offer a range of ecosystem services and natural resources, such as non-timber forest products (NTFPs). The Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) allows the exploitation of its seeds, which is an important NTFP for the subsistence of traditional peoples and communities, as well as farmers in the Amazon region. Despite the economic and historical importance of this product, the production chain still faces significant undervaluation. The bioeconomy and carbon market emerge as alternatives to add value to this chain, highlighting the role of carbon sequestration by forests and, consequently, the relevance of their maintenance compared to other land uses. This study aims to develop a density profile model of Brazil nut trees located in the Northern Amazon, in the state of Roraima, and analyze the carbon assimilation dynamics of this forest over 10-years. It was observed that the plot had an average diameter increase of 6 cm, corresponding to an increase in carbon dioxide assimilation of approximately 39.3 tons per hectare. In monetary terms, over the 10-year period, the Brazil nut forest sequestered US\$382.00/ha, equivalent to R\$2,066.37/ha, with an average of R\$207/year.ha. The monetary value attributed to carbon sequestration in Brazil nut forests is less significant when compared to other services provided, such as food provision and avoided deforestation. To ensure the economic viability of conservation and the sustainable development of the Amazon, it's essential for public policies to establish fairer values for the payment of carbon sequestered in natural systems like forests with Brazil nut trees.

Keywords: bioeconomy, carbon market, carbon sequestration, X-ray densitometry, Wood biomass, brazil nut tree.

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais abrangem ampla diversidade de serviços e benefícios ecossistêmicos (Fearnside, 2008), além de concentrar inúmeros recursos naturais de fauna e flora (Aleixo et al., 2010). O potencial econômico na produção de PFNM “Produtos Florestais Não Madeireiros” é aspecto fundamental para a presença de populações e a preservação ambiental (Pereira et al., 2016). No entanto, a exploração indevida dos recursos das florestas, às alterações climáticas ocorridas nas últimas décadas e a transformação do uso de terras florestais para a agricultura (Gloor et al., 2013; Marengo; Espinoza, 2016), vêm conduzindo à perda de biodiversidade e alterações do comportamento ecológico das espécies e de seus respectivos ativos ambientais (Bretfeld et al., 2018; Locosselli et al., 2021).

A castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma espécie arbórea tropical, considerada vulnerável pela União Internacional para Conservação da Natureza e, nesse sentido, suas árvores não podem ser derrubadas para comercialização. Uma alternativa para o



aproveitamento econômico da espécie é vinculado a sua semente, a castanha-da-amazônia, conhecida como castanha-do-brasil, castanha-do-pará e recentemente como castanha-da-amazônia, um dos produtos florestais não madeireiro PFNM mais consumidos e comercializados mundialmente (Wadt et al., 2017). A espécie é considerada social, geralmente agrupada em castanhais (Almeida, 2015), os quais possuem grande importância histórica e econômica para as comunidades da região amazônica (Shanley et al., 2002).

O extrativismo da castanha-da-amazônia apresenta-se como uma das atividades mais importantes para as comunidades locais. Almeida (2004) estimou a participação de aproximadamente 25 mil famílias, em comunidades tradicionais (quilombolas, indígenas e ribeirinhos), cuja sobrevivência depende diretamente do extrativismo da castanha. Entretanto, mesmo esse PFNM sendo extremamente explorado, a cadeia de valor da castanha ainda encontra inúmeros desafios para essas comunidades (Toledo et al., 2016; Observatório Castanha-Da-Amazônia, 2023), que via de regra são mal remuneradas e respondem por apenas cerca de 4% da movimentação financeira desta cadeia de valor (Observatório Castanha-Da-Amazônia, 2023).

O cenário de ascensão da bioeconomia oferece destaque ao mercado de carbono - termo comumente utilizado para expressar a comercialização de ativos relacionados às emissões de GEE (International Chamber Of Commerce Brasil; WayCarbon, 2021) - frente às necessidades firmadas no protocolo de Kyoto (Barreto et al., 2009). O sequestro de carbono florestal é uma alternativa viável para amenizar o agravamento do processo de elevação da temperatura global, ocasionado pelo aumento de CO₂ atmosférico (International Chamber Of Commerce Brasil; WayCarbon, 2021). Assim, ferramentas de quantificação e análise do carbono estocado em árvores podem contribuir para o estabelecimento de métricas para pagamento, além da conservação e valoração das florestas em pé.

A castanheira é considerada um ativo natural, uma vez que produz um fluxo de produtos e serviços contribuindo para melhoria das condições de bem-estar da população regional (Costanza et al., 1997). A apresentação de castanhais como locais de alto valor na produção de serviços ecossistêmicos pode contribuir para valorização destas florestas frente aos agentes públicos e à sociedade em geral. Essa valorização se traduz em um maior reconhecimento do valor dos ecossistemas, dos impactos negativos de sua perda ou degradação e do trabalho das comunidades locais (Pinheiro, 2022).

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo construir um perfil de densidade médio de castanheiras-da-amazônia localizadas na Amazônia Setentrional, no estado de Roraima, e analisar a dinâmica de assimilação de carbono dessa floresta num horizonte temporal de 10 anos, entre 2006 a 2017, de modo a inferir sobre a capacidade de assimilação de carbono da espécie, e, conseqüentemente sobre o valor representativo dentro do mercado de carbono.



2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do trabalho foram coletadas amostras não destrutivas de 23 indivíduos arbóreos de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) localizados em castanhal nativo, na região conhecida como Itã, município de Caracaraí, RR. Trata-se de uma parcela permanente (PP) instalada pela Embrapa no ano de 2006, que integra a Rede de Pesquisa Kamukaia da Embrapa, e que desde 2020 se apresenta como um sítio de pesquisa do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração do CNPq (Sítios PELD-FORR). Nessa PP, foram feitas coletas de dados de diversos parâmetros importantes para o entendimento da ecologia destas florestas, como inventários quantitativos periódicos, incluindo variáveis como produção de frutos e diâmetro à 1,30 m de altura, equivalente ao diâmetro à altura do peito (DAP) dos indivíduos arbóreos.

2.1. Caracterização da Área

O estudo foi realizado em uma área de floresta ombrófila densa, localizada na reserva legal da Fazenda Pau Rainha, Município de Caracaraí-RR (01°48'58,0" N e 61°07'41,0" W). Nesta área, a Embrapa Roraima instalou e mantém, desde 2006, parcelas de 9 ha (300 x 300 m) para o monitoramento de longo prazo da produção de frutos e da dinâmica populacional da castanheira (Tonini et al., 2008). Os dados de coleta foram obtidos na parcela Itã-1, a qual integra o sítio de amostragem do PELD-FORR (Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração – Florestas de Roraima).

2.2. Coleta de Amostras

Para a coleta de amostras utilizou-se a técnica de amostragem não destrutiva, ou seja, sem a necessidade da derrubada das árvores, por meio da ferramenta Sonda de Pressler, retirando segmentos do raio dos indivíduos arbóreos à 1,3 m de altura.

2.3. Preparo das Amostras e Retirada de Imagens

O preparo de amostras iniciou-se com a colagem do lenho em suportes de madeira, com fibras direcionadas transversalmente, formando baguetas, as quais passaram por um corte em uma serra circular dupla, com aproximadamente 1,6 mm de espessura, assim como representado na Figura 1, para obtenção de uma fina lâmina da seção transversal, adequado para observação do perfil de crescimento por meio da densidade.



Figura 1. Preparo de amostras: corte das amostras radiais do lenho das castanheiras-da-amazônia em serra circular dupla.

Com o devido corte realizado, as amostras foram acondicionadas em estufa climatizada, com 20 °C e 60% de umidade por 24 h (Tomazello-Filho; Botosso; Lisi, 1999). Por fim, as amostras foram radiografadas em equipamento de raios X digital Faxitron (Figura 2), no Laboratório de Anatomia Identificação e Densitometria de Raios X da Madeira – ESALQ/USP, com operação a 32 kV em 5.4s. Utilizou-se uma escala de acetato para calibração da microdensidade aparente do lenho que foi determinada com auxílio do software ImageJ (Figura 3).



Figura 2. Equipamento Faxitron para obtenção de imagens de raios X.

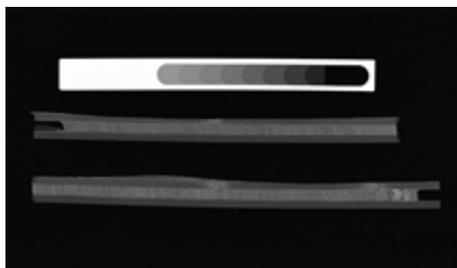


Figura 3. Imagem radiográfica de amostras radiais do lenho de castanheiras-da-amazônia, com escala de acetato localizada na parte superior.



2.4. Construção do Perfil de Densidade

Inicialmente foram separadas as amostras radiais do lenho de castanheira completas (casca-medula), totalizando 13 amostras. Para estas amostras, foram construídos os perfis de densidade utilizando o software ImageJ a partir das imagens radiográficas. Foi realizada uma análise exploratória dos dados de densidade com o objetivo de identificar e remover amostras com valores atípicos (outliers) ou que apresentassem desvios decorrentes de problemas no preparo das mesmas. Especificamente, buscamos por amostras que apresentassem valores de densidade que se distanciavam significativamente da média dos demais dados, possivelmente resultado de problemas no preparo, como amostras muito finas, onde a medição da densidade pode ser contaminada pela densidade do suporte de *Pinus taeda*. Assim, chegamos a um total de quatro amostras completas cujos valores de densidade foram utilizados na construção de um modelo de perfil de densidade (Equação 1) capaz de estimar a densidade aparente (D) em função dos DAPs obtidos em campo nos anos de 2006 e 2017, com uso de fita métrica. O modelo foi definido a partir da observação do coeficiente de determinação (R^2) das linhas de tendência avaliadas. Com uso deste modelo, determinou-se a D de cada indivíduo da parcela, que posteriormente foi transformada em densidade básica (Db) através da multiplicação pelo fator 0,828 (Vital, 1984).

2.5. Cálculo da Quantidade de Carbono Estocado

Para o cálculo do carbono estocado ano a ano em um intervalo de tempo de 10 anos, entre 2006 a 2017, inicialmente procedeu-se a determinação de altura dos 115 indivíduos de castanheira-da-amazônia presentes na área de 9 ha, utilizando-se a equação hipsométrica desenvolvida por Tonini, Costa e Kaminski (2008). Esta equação (Equação 2) permite estimar a altura das árvores (h) a partir dos valores de DAP. Neste modelo, b_0 e b_1 são parâmetros ajustados e correspondem respectivamente aos valores 3,928 e -14,536.

A partir dos valores de Db, DAP e h, substituídos devidamente na Equação 3 (Batista et al., 2014) estimou-se a biomassa lenhosa da parte aérea (AGB) para cada indivíduo da parcela, utilizando o fator de forma (ff) 0,64, determinado para castanheiras por Locatelli et al. (2017). Para geração de estimativas de estoque de carbono (C), em kg, foi considerado 50% da biomassa lenhosa da parte aérea (Gibbs et al., 2007). Os valores de C estocados no lenho foram convertidos em CO₂-equivalente (CO₂-eq) pela razão da massa molar de CO₂ e de C (Watson; Cire Writing Team, 2001). Foi utilizado o preço de referência de US\$ 9,72 por 1 tonelada de CO₂-eq em projetos da categoria “Forestry & Land Use”, com base nos preços de mercado de 2023 (Forest Trends’ Ecosystem Marketplace, 2024).



De forma a compreender essa assimilação de maneira mais generalista, os valores estimados de biomassa, carbono e dióxido de carbono para os 9 hectares da parcela foram transformados em dados por hectare.

$$D = 0.0256 * \ln(DAP) + 0.7785 \quad (1)$$

$$\ln h = b_0 + b_1 1/DAP \quad (2)$$

$$B = h * \pi * \frac{DAP^2}{4000} * ff * Db \quad (3)$$

2.6. Análise Estatística

Uma análise de regressão foi construída para as quatro amostras selecionadas, tendo sido ajustados os valores de D em função do DAP pelo modelo logarítmico, cujo R² possui valor igual a 0,3886. A equação do modelo é apresentada na figura 4.

De modo a compreender a estrutura da floresta e seu comportamento, os valores médios e o erro padrão das variáveis DAP, h e D dos indivíduos da parcela foram calculados.

Para determinar se há diferenças significativas entre as médias das variáveis DAP, h, Db, AGB, C e CO₂-eq, entre os anos de 2006 e 2017, foi utilizada uma análise de variância (ANOVA) (Gotelli; Ellison, 2011), com subsequente teste t, a 5% de probabilidade, utilizando-se o software OriginPro 2024b, com licença “Learning Edition”.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os valores de Db (g/cm³) obtidos pela análise de imagens radiografadas no software ImageJ, o modelo de D das amostras foi elaborado a partir de quatro amostras radiais do lenho de castanheira-da-amazônia completas (casca-medula). A linha de tendência é formada pelo modelo logarítmico, que apresentou maior coeficiente de determinação (Figura 4). Pode-se perceber que há um pico de densidade entre 20 - 30 mm e estabilização de D a partir dos 50 mm de diâmetro.

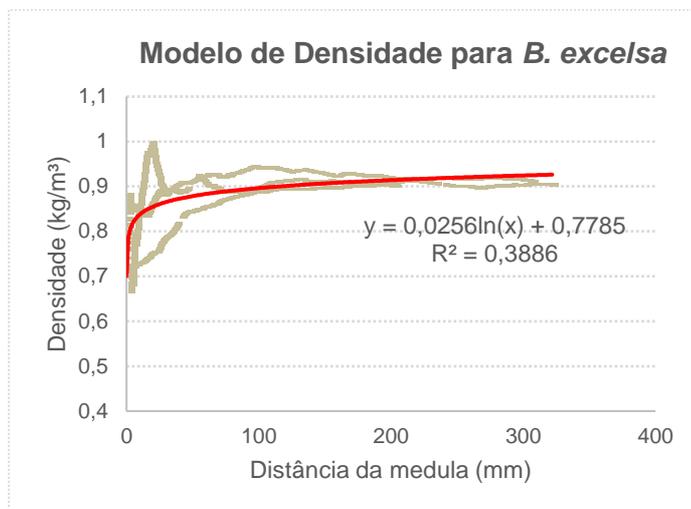


Figura 4. Modelo do perfil de densidade aparente em função do diâmetro. Em cinza - distribuição da densidade das amostras radiais completas; Em vermelho - linha de tendência no modelo logarítmico.

Os valores médios de DAP, h, Db, AGB, C e CO₂-eq no lenho de árvores de *Bertholletia excelsa*, para a parcela ITA-1 entre os anos de 2006 e 2017 são apresentados na Tabela 1. A evolução temporal do DAP e da assimilação de C pode ser observada nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

Tabela 1. Valores médios de diâmetro a altura do peito (DAP), altura (h), densidade básica (Db) do castanhal, e valores estimados de biomassa (AGB), carbono (C) e dióxido de carbono (CO₂-eq) por hectare, para os anos de 2006 e 2017, considerando todos os indivíduos de *Bertholletia excelsa* (DAP ≥ 10 cm) presentes na parcela permanente Itã-1.

Ano	DAP (m)	h (m)	Db (kg/m ³)	AGB (kg/ha)	C (kg/ha)	CO ₂ -eq (kg/ha)
2006	0,75 ± 0,35A	39,23 ± 6,99A	732,84 ± 12,78A	141.390,90A	70.695,45A	261.573,16A
2017	0,80 ± 0,37A	40,25 ± 6,06A	734,78 ± 13,41A	162.635,15A	81.317,58A	300.875,03A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não apresentam diferenças significativas (teste t, p < 0,05, n=115).

A análise estatística revelou que não houve diferença significativa para h (p = 0,24), DAP e Db (p = 0,23), AGB, C e CO₂ (p = 0,24) no intervalo de 10 anos, indicando estabilidade nas taxas de crescimento dos indivíduos de castanheira ao longo do tempo. Esse comportamento pode ser atribuído ao estágio de sucessão da floresta estudada, que atingiu seu clímax (Pinheiro, 2022). Segundo Schongart et al. (2015), florestas maduras tendem a ter taxas menores de incremento diamétrico e, conseqüentemente, menor acúmulo de AGB e C em comparação com florestas mais jovens.

Ainda assim, observou-se um incremento médio de 0,06 m de diâmetro, correspondendo a um aumento de assimilação de CO₂-eq de, aproximadamente, 39,3 toneladas por hectare ao longo de 10 anos. No mercado de carbono, cada crédito representa a remoção de uma tonelada de CO₂ da atmosfera. Com o preço de mercado de US\$ 9,72 por crédito de carbono em projetos

da categoria “Forestry & Land Use” em 2023 (Ecosystem Marketplace, 2024), o aumento de 39 toneladas na assimilação de CO₂ ao longo de uma década por hectare gera um valor monetário total de aproximadamente US\$ 382,00 por hectare, ou R\$ 2.066,37 considerando a taxa de câmbio de R\$ 5,4094 obtida em 11 de julho de 2024. Isso representa uma média anual de cerca de R\$ 207,00 por hectare, sublinhando o impacto econômico do crescimento observado.

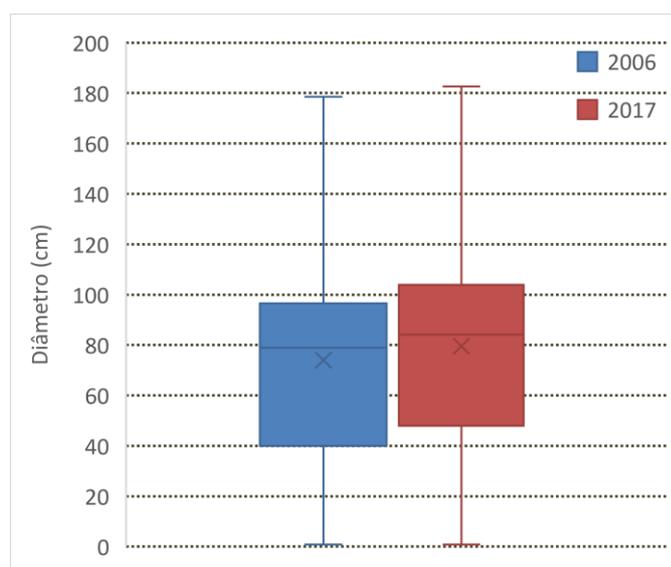


Figura 5. DAP dos indivíduos adultos (DAP ≥ 10 cm) de *Bertholletia excelsa* presentes na parcela permanente Itã-1 nos anos de 2006 e 2017.

Os valores monetários derivados do sequestro de C no lenho das castanheiras ao longo destes 10 anos não são significativos, especialmente quando comparados aos potencialmente obtidos a partir da AGB, que pode armazenar entre 77,06 a 270,72 t.ha⁻¹ C, com um valor potencial de US\$ 691,90 por hectare (Pinheiro, 2022). De fato, a quantidade total de biomassa estocada é economicamente mais relevante do que os valores obtidos a partir da assimilação anual de carbono. É importante ressaltar que tanto nosso trabalho quanto o de Pinheiro (2022) consideraram apenas o carbono estocado no lenho das castanheiras para cálculo da AGB, excluindo outros compartimentos como galhos e folha, bem como fluxos.

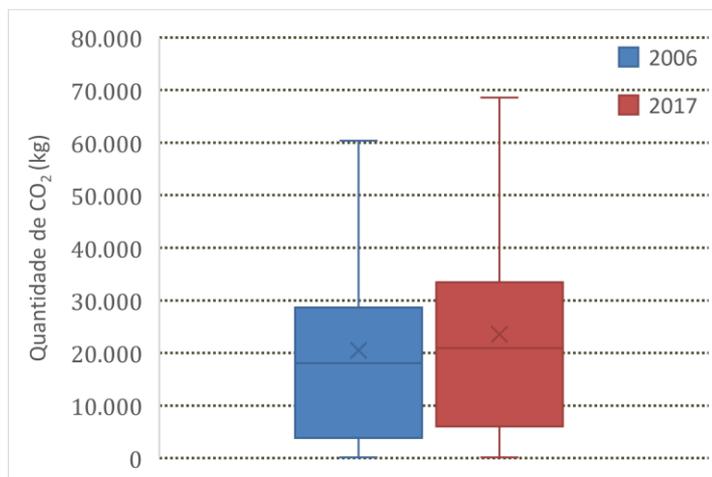


Figura 6. Assimilação de carbono pelos indivíduos adultos ($DAP \geq 10$ cm) de *Bertholletia excelsa* presentes na parcela permanente Itã-1 em 2006 e 2017.

Nossos dados revelam que, para castanhais em estágios avançados de sucessão, a remuneração pelo serviço ambiental de sequestro de carbono não se mostra competitiva quando comparada aos valores potenciais pagos pelo carbono total armazenado. Valorizar o sequestro de carbono pelas castanheiras como um serviço ecossistêmico pode direcionar um modelo de desenvolvimento que beneficie tanto o meio ambiente quanto as comunidades locais, ampliando o potencial de conservação da Amazônia. Isso exige o estabelecimento de um mercado de carbono justo e eficiente.

Diante desse cenário, torna-se imperativa a implementação de políticas públicas que definam valores mínimos e realistas para o mercado de carbono. A criação de um mercado de carbono justo e eficiente é fundamental para garantir a viabilidade econômica da conservação da Amazônia e promover o desenvolvimento sustentável da região. Ao valorizar o sequestro de carbono pelas castanheiras e outros serviços ecossistêmicos, podemos estabelecer um modelo de desenvolvimento que beneficie pessoas e o planeta.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que os castanhais em estágios avançados de sucessão apresentam um padrão de crescimento estável ao longo de uma década, com incremento no diâmetro e na assimilação de carbono estatisticamente não significativos. Este comportamento pode ser atribuído ao estágio de clímax da floresta estudada. Embora tenha sido observado um leve aumento no diâmetro médio das árvores, resultando em um acréscimo na assimilação de CO_2 , os benefícios econômicos derivados do sequestro de carbono no lenho das castanheiras são comparativamente modestos em relação àqueles que podem ser obtidos à partir da biomassa total estocada acima do solo destas árvores. Portanto, reforça-se a importância do desenvolvimento de



políticas que valorizem não apenas o carbono estocado, mas também o sequestro contínuo de carbono como um serviço ecossistêmico.

5. AGRADECIMENTOS

O presente estudo foi viabilizado pelo financiamento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) através do Projeto "Ecologia e genética da castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) como subsídio à conservação e uso sustentável da espécie" (SEG: 12.13.05.017.00.00). O castanhal em questão integra o Sítio de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração PELD-FORR (CNPq/PELD Processo: 441575/2016-1). Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica concedida a M.E.P.G. durante a realização da pesquisa. Agradecemos também ao Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raio-X da Madeira (LAIM) pela disponibilização de espaço, equipamentos e pelo apoio da equipe e pesquisadores, cuja colaboração foi fundamental para a obtenção dos resultados descritos neste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ALEIXO, A. et al. Mudanças climáticas e a biodiversidade dos biomas brasileiros: passado, presente e futuro. **Natureza & Conservação**, v.8, n.2, p.194-196, 2010.
- ALMEIDA, A.W. Terras tradicionalmente ocupadas: processos de territorialização e movimentos sociais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v.6, n.1, p.9-32, 2004.
- ALMEIDA, J. J. **Do extrativismo à domesticação**: as possibilidades da castanha-do-pará. 2015. 304 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BARRETO, L.; FREITAS, A. C.; PAIVA, L. Sequestro de carbono. **Enciclopédia Biosfera**, v. 5, n. 7, 2009.
- BATISTA, J. L. F; COUTO, H. T. Z. do; SILVA-FILHO, D. F. da. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2014. 384 p.
- BRETFELD, M.; EWERS, B. E.; HALL, J. S. Plant water use responses along secondary forest succession during the 2015–2016 El Niño drought in Panama. **New Phytologist**, v. 219, n.3, p. 885 - 899. 2018.
- COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253–260, 1997.
- ECOSYSTEM MARKETPLACE: a forest trends initiative. **2024 state of the voluntary carbon market (SOVCM)**. Washington, DC: Forest Trends Association, 2024. 36 p. Disponível em: <https://www.ecosystemmarketplace.com/publications/2024-state-of-the-voluntary-carbon-markets-sovcm/>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- FERNSIDE, P. M. Amazon forest maintenance as a source of environmental services. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, n. 1, p. 101–114, 2008.
- GIBBS, H. K. et al. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. **Environmental Research Letters**, v. 2, n. 4, 2007.
- GLOOR, M. et al. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 9, p. 1729–1733, 2013.
- GOTELLI, N.J.; ELLISON, A.M. **Princípios de estatística em ecologia**. Porto Alegre, RS: Artmed, 2011. 528 p.



INTERNATIONAL CHAMBER OF COMMERCE BRASIL; WAYCARBON. **Oportunidades para o Brasil em Mercados de Carbono – Relatório**. 2021. Disponível em: https://www.iccbrasil.org/wp-content/uploads/2021/10/oportunidades-para-o-brasil-em-mercados-de-carbono_icc-br-e-waycarbon_29_09_2021.pdf. Acesso em: 15 jul. 2024.

LOCATELLI, M. et al. **Fator de forma para a castanheira-da-amazônia**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2017. 4 p.

LOCOSSELLI, G. M. et al. Global tree-ring analysis reveals rapid decrease in tropical tree longevity with temperature. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 117, n. 52, p. 33358–33364. 2021.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 1033–1050. 2016.

OBSERVATÓRIO CASTANHA-DA-AMAZÔNIA. **A castanha-da-Amazônia: aspectos econômicos e mercadológicos da cadeia de valor**. Organização Observatório Castanha-da-Amazônia (OCA). – Brasília, DF: Mil Folhas do IEB, 2023. 44 p. Disponível em: https://observatoriodacastanha.org.br/api/uploads/documents/A_Castanha_Da_Amazonia_Aspectos_Economicos_EMercadologicos.pdf. Acesso em: 5 jun. 2024.

PEREIRA, C. M. de S.; ASSIS, W. S. de; SÁ, T. D. de A. Extrativismo de produtos florestais não madeireiros na Amazônia: conjuntura, políticas públicas e experiências. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, v. 13, n. 23, p. 53-78, jul./dez. 2016.

PINHEIRO, F. A. P. **Diversidade arbórea e estoque de biomassa em um castanhal nativo do sul do estado de Roraima**. 2022. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Roraima, Bela Vista

SCHONGART, J. et al. Age and growth patterns of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. **Biotropica**. v. 47, p. 550-558, 2015.

SHANLEY, P. et al. **Tapping the green market: certification and management of non-timber forest products**. London: Earthscan, 2002. 456 p.

TOLEDO, R. A. de et al. **Panorama nacional da cadeia de valor da castanha-do-brasil**. Piracicaba, SP: Imaflora, 2016. 60 p.

TOMAZELLO-FILHO, M., BOTOSSO P.C., LISI C.S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N.B. et al. (org.) **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo, SP: EDUC, 1999. 285 p.

TONINI, H.; COSTA, P. da; KAMINSKI, P. E. Estrutura e produção de duas populações nativas de castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* O. Berg) em Roraima. **Floresta**, v. 38, n. 3, p. 445-457, 2008.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais – Universidade Federal de Viçosa, 1984. 21p. (Boletim Técnico, n.1).

WADT, L. H. de O. et al. (ed.). **Produtos florestais não madeireiros: guia metodológico da Rede Kamukaia**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 133 p.

WATSON, R. T.; CORE WRITING TEAM (ed.). **Climate change 2001: synthesis report**. Cambridge [England]; New York: Cambridge University Press: Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001, 397p. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/466959?v=pdf>. Acesso em: 05 de jun. de 2024.