



DIRECIONADORES DO AUMENTO DO ESTOQUE DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO NA MATA ATLÂNTICA BRASILEIRA

Nathan Castro Fonsêca¹, Jéssica Stéfane Alves Cunha¹, Whelley Pereira Izidro¹, Bárbara Brandão Nascimento¹, Karina Bispo Beserra¹, Ana Carolina Borges Lins e Silva¹

1 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. E-mail: nathanflorestal@hotmail.com; cunhajs@ gmail.com; whelley.izidro@ufrpe.br; brandaobarbara97@gmail.com; karinabispo19@gmail.com; acblsilva@gmail.com

Autor correspondente: Nathan Castro Fonsêca. E-mail: nathanflorestal@hotmail.com

RESUMO

Conhecer os direcionadores de aumento da biomassa é peça chave na busca por mitigação das mudanças climáticas. Assim, objetivou-se analisar e atualizar os dados sobre os estoques de biomassa da Floresta Atlântica brasileira, e verificar quais direcionadores explicam o armazenamento no bioma. Para este estudo compilou-se um banco de dados que incluí 35 artigos publicados na Floresta Atlântica e que informam dados de biomassa, altitude, tamanho da floresta, estágio sucessional e variáveis climáticas (precipitação e temperatura). A biomassa na Floresta Atlântica variou de 38,9 a 431,4 Mg ha⁻¹. Os estoques foram altamente variáveis ao longo do bioma e dependentes do estágio de sucessão, com as florestas maduras apresentando em média 267 ± 85,8 Mg ha⁻¹, e as florestas secundárias de 175,6 ± 81,3 Mg ha⁻¹. Dos possíveis direcionadores analisados, verificou-se que a precipitação e o estágio sucessional explicou positivamente a biomassa armazenada. Nossa pesquisa demonstra o potencial da Floresta Atlântica em armazenar biomassa, e confirma a importância da conservação do *hotspots* para a manutenção dos serviços ecossistêmicos de regulação e mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Estoque de biomassa; distúrbio; floresta tropical; precipitação; sucessão ecológica

DRIVERS OF THE INCREASE IN THE ABOVE-GROUND BIOMASS STOCK IN THE BRAZILIAN ATLANTIC FOREST

ABSTRACT

Understanding the drivers of biomass increase is a key factor in the search for climate change mitigation. Thus, the objective of this study was to analyze and update data on biomass stocks in the Brazilian Atlantic Forest and determine which drivers explain biomass storage in the biome. For this study, a database was compiled, which included 35 articles published in the Atlantic Forest and provided data on biomass, altitude, forest size, successional stage, and climatic variables (precipitation and temperature). Biomass in the Atlantic Forest ranged from 38.9 to 431.4 Mg ha⁻¹. Stocks varied greatly across the biome and were dependent on successional stage, with mature forests averaging 267 ± 85.8 Mg ha⁻¹ and secondary forests averaging 175.6 ± 81.3 Mg ha⁻¹. Among the analyzed drivers, it was found that precipitation and successional stage positively explained the stored biomass. Our research demonstrates the potential of the Atlantic Forest to store biomass and confirms the importance of conserving hotspots for maintaining ecosystem services related to climate change regulation and mitigation.

Key words: Biomass stock; disturbance; tropical forest; precipitation; ecological succession.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

Estima-se que atualmente a cobertura vegetal da Floresta Atlântica brasileira está entre 12 e 28%, distribuída em inúmeros e pequenos fragmentos florestais (Ribeiro *et al.*, 2009; Rezende *et al.*, 2018). Apesar de serem pequenos fragmentos, e em sua maioria de cobertura vegetal secundária, pesquisas apontam que essas florestas apresentam alto potencial para armazenar biomassa. Compreender esse potencial na Floresta Atlântica é garantir mais incentivos de políticas públicas para sua proteção, implementação de práticas voltadas para a restauração das áreas degradadas e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas previstas.

Todavia, ocorre uma grande dificuldade em sistematizar informações sobre o estoque biomassa e o padrão desse armazenamento no bioma, devido principalmente a falta de padronização dos métodos de amostragem. Nos últimos anos, vários estudos têm se dedicado a entender quais são os impulsionadores relacionados com o armazenamento de biomassa em outras regiões do planeta (Ruiz-Benito *et al.*, 2013; Arasa-Gisbert *et al.*, 2018). A maioria dos estudos dedica-se a entender a relação das variáveis bióticas com o armazenamento (Arasa-Gisbert *et al.*, 2018). Porém, pesquisas apontam discordância em algumas pesquisas quanto à natureza da correlação (Ruiz-Benito *et al.*, 2013; Ziter *et al.*, 2013). Uma possível razão para resultados conflitantes pode estar relacionada com as variáveis escolhidas, visto que diversos estudos ignoram amplamente a questão da estrutura dos fragmentos e as condições climáticas e topográficas, podendo causar super ou subestimativa dos estoques (Ziter *et al.*, 2013). Em geral, as pesquisas apontam que os estoques de biomassa nas florestas, refletem um padrão complexo de respostas a variáveis ambientais, que variam no tempo e espaço e na frequência de distúrbios naturais e antrópicos.

Diante dos impasses e na busca por melhores respostas, na presente pesquisa se objetivou analisar e atualizar os dados sobre os estoques de biomassa da Floresta Atlântica brasileira, e entender quais os principais direcionadores que explicam o armazenamento no bioma. Especificamente, avaliamos o estoque de biomassa associada às condições climáticas e espaciais e ao estágio sucessional das florestas. Com a hipótese de que as florestas que recebem maior volume de precipitação, maior temperatura e em estágio sucessional avançado possuem os maiores estoques de biomassa.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Para este estudo foi considerada toda a abrangência do bioma Mata Atlântica no Brasil (Figura 1). Utilizou o banco de dados já compilado pelos autores dessa pesquisa que inclui 35 artigos publicados na Mata Atlântica e que informa dados de biomassa por hectare, coordenadas geográficas (latitude e longitude), altitude (m), estágio de sucessão (floresta madura – FM ou floresta secundária - FS), tamanho da floresta (ha) e clima (precipitação e temperatura média).

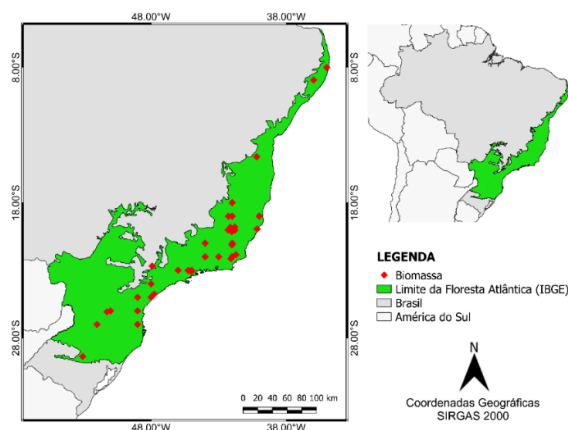


Figura 1. Localização das áreas com estimativas de biomassa acima do solo na Floresta Atlântica Brasileira

Análise dos dados

Após organizar o banco de dados de biomassa, realizou-se o teste t a 5% de probabilidade para identificar diferenças entre estoques de biomassa nos diferentes estágios de sucessão (FM e FS). Posteriormente, aplicou-se o modelo linear generalizado misto (GLMM) para testar a relação entre as variáveis independentes (altitude, estágios, tamanho da floresta, precipitação e temperatura) sobre o estoque de biomassa. As variáveis predictoras foram padronizadas para média 0 e desvio padrão 1, utilizando a função *destand* (pacote R *Vegan*). Os métodos de amostragem (direto e indireto) foram considerados como fatores aleatórios. Usamos distribuição Gaussiana no modelo de resposta. Os modelos foram selecionados usando o Critério de Akaike (AIC). Além disso, calculamos a variância explicada dos efeitos fixos ($R^2_{GLMM(m)}$) e efeitos fixos + aleatórios ($R^2_{GLMM(c)}$) (Nakagawa & Schielzeth, 2013). Por fim, utilizou-se o teste de correlação de Pearson entre as variáveis predictoras significativas e a variável resposta (biomassa). Para análise, usamos R versão 3.3.1 (R Core Team, 2020) e pacotes apropriados para testes: *nlme*, *lme4*, *MuMIn* e *ggplot2*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Biomassa na Floresta Atlântica

Dos 35 artigos publicados, 20 foram realizados em florestas secundárias (FS) e os 15 estudos restantes foram realizados em áreas de florestas maduras (FM). As florestas estudadas variaram de 1,4 a 100.000,00 ha, com altitudes entre 50 m e 1.200 m. As temperaturas médias anuais variaram de 16°C a 25,8°C, com média e desvio padrão de $21,1 \pm 2,38^\circ\text{C}$. A precipitação média anual variou entre 1050 e 2821 mm, com média de $1723,3 \pm 482$ mm. A biomassa foi altamente variável e dependente do estágio de sucessão, apresentando diferença significativa (p -valor = 0,000**). Em FM, a biomassa média foi de $267 \pm 85,8 \text{Mg ha}^{-1}$, apontando maior estoque do que nas FS que apresentou média de $175,6 \pm 81,3 \text{Mg ha}^{-1}$.

Direcionadores no estoque de biomassa na Floresta Atlântica brasileira

Variáveis espaciais (altitude, tamanho da floresta) e ambientais (precipitação, temperatura e estágio sucessional) foram testadas como impulsionadoras dos estoques de biomassa através do GLMM. Verificou-se que a precipitação média anual (p -valor = 0,003**) e o estágio sucessional (p -valor = 0,000***) explicaram a biomassa armazenada (Tabela 1, Figura 2A e B), permanecendo o modelo 4 selecionado, de acordo com o AIC, R^2 GLMM(m) e R^2 GLMM(c). A precipitação apresentou correlação positiva (Figura 2A) com a biomassa ($r = 0,44$), e a FM apresentou o maior estoque de biomassa (Figura 2B).

Tabela 1. Resultado do GLMM na avaliação da contribuição das variáveis explicativas no estoque de biomassa na Floresta Atlântica Brasileira

Modelo	Biomassa versus variáveis explicativas	AIC	Variância explicada		
Mod4	Mod4 <- lmer (Biomassa ~ Estágio sucessionais + Precipitação		$R^2_{GLMM(m)} = 0,28$		
Mod4	+ (1 método de amostragem), REML = TRUE, data = bio, family = "gaussian")	-12,43	$R^2_{GLMM(c)} = 0,56$		
Efeito fixos:	Estimativa	Erro Padrão	df	t valor	Pr(> t)
(Intercept)	0,510	0,135	1,1736	3,778	0,135
Estágio sucessional	-0,221	0,058	35,002	-3,773	0,000***
Precipitação	0,326	0,103	35,509	3,141	0,003**

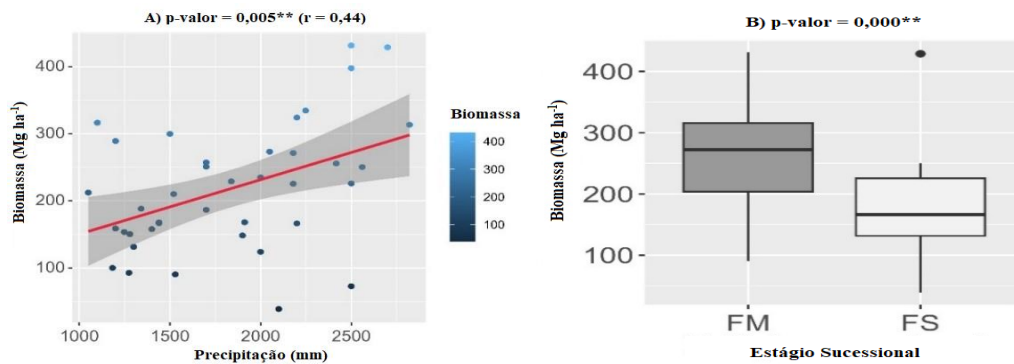


Figura 2. Direcionadoras do aumento do estoque de biomassa na Floresta Atlântica brasileira. A. precipitação (mm) e o estoque de biomassa (Mg ha⁻¹), e B. estoque de biomassa (Mg ha⁻¹) em diferentes estágios sucessionais (FM e FS).

Os resultados comprovam a grande capacidade da Floresta Atlântica brasileira em armazenar biomassa, com destaque para as FM e áreas com maior precipitação. A Floresta Atlântica apresenta condições ambientais altamente heterogêneas, com volumes de chuvas durante todo o ano, chegando a mais de 4.000 mm e diferenças topográficas que chegam até 2891m de altitudes (Câmara, 2005; Ribeiro *et al.*, 2009). Essas características combinadas com a grande distribuição longitudinal, favoreceram a alta diversidade de plantas e habitats estruturalmente mais complexos, estocando centenas de megatoneladas de biomassa (Anderson-Teixeira *et al.*, 2016).

O estágio da floresta e a condição climática da região influencia diretamente no acúmulo de biomassa (Arasa-Gisbert *et al.*, 2018). Azevedo *et al.* (2018) ao avaliarem o estoque de biomassa em três áreas com estágios distintos constataram que o armazenamento aumenta conforme o incremento em idade. Ao considerar grandes escalas espaciais, como em nossa análise, o clima é frequentemente reconhecido como o principal fator que atua nos estoques de biomassa e carbono, como relatado para outros biomas (Keeling & Phillips, 2007). Ao longo de um gradiente climático

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

de vegetação no México, o estoque de biomassa foi significativo e positivamente correlacionado com a precipitação em quase todos os tipos de floresta (Arasa-Gisbert *et al.*, 2018). Já para nível local ou escala fina, variáveis topográficas e distúrbios florestais também se tornam importantes preditores de estoques de biomassa (Xu *et al.*, 2015).

CONCLUSÃO

Os resultados da presente pesquisa são de grande relevância por destacar a importância da Mata Atlântica na manutenção dos serviços ecossistêmicos de regulação. Assim, nosso estudo fornece maiores detalhes sobre o potencial da Floresta Atlântica em armazenar biomassa, e demonstra a partir de informações científicas, a importância da conservação do *hotspots*.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela CAPES - Código Financeiro 001, por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais/UFRPE e pelo CNPQ - Processo 424956/2021-7 através do PPBio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson-Teixeira, K. J; Wang, M. M. H; Mcgarvey, J.C.; LeBauer, D. S. Carbon dynamics of mature and regrowth tropical forests derived from a pantropical database (TropForC-db). **Global Change Biology**, v. 22, n. 5, p.1690–1709, 2016. <https://doi.org/10.1111/gcb.13226>.
- Arasa-Gisbert, R; Vayreda, J; Román-Cuesta, R. M; Villela, S.A; Mayorga, R.; Retana, J. Forest diversity plays a key role in determining the stand carbon stocks of Mexican forests. **Forest Ecology and Management**, v.415-416, p.160–171, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.023>.
- Azevedo, A; Francelino, M; Camara, R; Pereira, M; Leles, P. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da mata atlântica. **Floresta**, v.48, n. 2. p.133–142, 2018. <https://doi.org/10.5380/ufv.v48i2.54447>.
- Câmara, I. G. Breve história da conservação na Mata Atlântica. In: Leal, C. G; Câmara, I. G. (Eds.). **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Belo Horizonte: Fundação SOS Mata Atlântica; Conservação Internacional, 2005. p. 31 – 42.
- Keeling, H. C; Phillips, O. L. The global relationship between forest productivity and biomass. **Global Ecology and Biogeography**, v. 15, n. 5, p.618–631, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00314.x>.
- Nakagawa, S; Schielzeth, H. A general and simple method for obtaining R^2 from generalised linear mixed-effects models. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 4, n. 2, p.133–142, 2013. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2012.00261.x>.
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020.
- Rezende, C. L; Scarano, F. R; Assad, E. D; Joly, C. A; Metzger, J. P; Strassburg, B. B. N; Tabarelli, M., Fonseca, G. A; Mittermeier, R. A. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 4, p.215–220, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>.
- Ribeiro, M. C.; Metzger, J. P.; Martensen, A. C.; Ponzoni, F. J.; Hirota, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p.1141-1153, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>.
- Ruiz-Benito, P; Gómez-Aparicio, L; Paquette, A; Messier, C; Kattge, J; Zavala, M. A. Diversity increases carbon storage and tree productivity in Spanish forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 3, p. 1-12, 2013. <https://doi.org/10.1111/geb.12126>.
- Xu, Y; Franklin, S.B; Wang, Q; Shi, Z; Luo, Y; Lu, Z; Zhang, J; Qiao, X; Jiang, M. Topographic and biotic factors determine forest biomass spatial distribution in a subtropical mountain moist forest. **Forest Ecology and Management**, v. 357, p. 95-103, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.08.010>.
- Ziter, C; Bennett, E; Gonzalez, A. Functional diversity and management mediate aboveground carbon stocks in small forest fragments. **Ecosphere**, v. 4, n. 7, p.1-21, 2013. <https://doi.org/10.1890/ES13-00135.1>.