



RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA DE ANDIROBA (*Carapa guianensis*) EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALUVIAL, ITATUPÃ-PA

Lorena Sousa Melo¹, Tainara Samilly Barros de Oliveira¹, Rodrigo Galvão Teixeira de
Souza¹, Robson Borges de Lima¹, Jadson Coelho de Abreu¹

1 Universidade do Estado do Amapá, Macapá, AP, Brasil. E-mail: lorenamelo.ueap@gmail.com;
tainarasamilly1311@gmail.com; rodrigossouza55@hotmail.com; robson.lima@ueap.edu.br;
jadson.abreu@ueap.edu.br

Autora correspondente: Lorena Sousa Melo. E-mail: lorenamelo.ueap@gmail.com.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo comparar modelos estatísticos de relação hipsométrica, para estimativa de altura do fuste de *Carapa guianensis* em floresta de várzea estuarina. Os dados foram obtidos de floresta ombrófila densa aluvial (Várzea) situada na região norte do arquipélago de Gurupá no distrito de Itatupã-PA, com área total de 8.540.032 km². De posse dos dados de diâmetro a 1,30 m do solo (D) e altura do fuste (h_f), coletados de forma direta de 11 árvores caídas de *Carapa guianensis*, foram testados cinco modelos hipsométricos. Utilizou-se como critério de seleção para o ajuste dos modelos o coeficiente de determinação ajustado (R²_{aj.}), o erro padrão da estimativa (S_{yx}%), o valor de F e a análise gráfica dos resíduos. A melhor estatística foi para o modelo hiperbólico com R²_{aj.} de 0,55 e S_{yx} de 21,09%.

Palavras-chave: Amazônia; floresta de várzea; modelos estatísticos.

HYPOMETRIC RELATION OF ANDIROBA (*Carapa guianensis*) IN DENSE ALLUVIAL OMBROPHYAL FOREST, ITATUPÃ-PA, BRAZIL

ABSTRACT

The present work aimed to compare statistical models of hypsometric relationship, for estimating the height of the stem of *Carapa guianensis* in estuarine floodplain forest. Data were obtained from a dense alluvial rain forest (Várzea) located in the northern region of the Gurupá archipelago in the district of Itatupã-PA, Brazil, with a total area of 8,540,032 km². With data on diameter at 1.30 m from the ground (D) and stem height (h_f), collected directly from 11 fallen *Carapa guianensis* trees, five hypsometric models were tested. The adjusted coefficient of determination (R²_{aj.}), the standard error of the estimate (S_{yx}%), the value of F and the graphic analysis of the residues were used as selection criteria for the adjustment of the models. The best statistic was for the hyperbolic model with R²_{aj.} of 0.55 and a S_{yx} of 21.09%.

Key words: Amazon; floodplain forest; statistical models



INTRODUÇÃO

A floresta amazônica é o maior reservatório natural de diversidade vegetal do planeta, sendo que cada um de seus diversos ambientes florestais possui um rico e variado contingente florístico, muitas vezes exclusivo daquele ambiente (Oliveira & Amaral, 2004). A floresta de várzea é um desses ambientes que possui elementos únicos e diversas espécies endêmicas, que desenvolveram mecanismos de adaptação ao ambiente alagado. Entre as espécies da floresta de várzea estão as andirobeiras (*Carapa guianensis* Aubl.), normalmente comuns nessa tipologia florestal, sendo encontradas em toda a bacia amazônica, principalmente em várzeas próximas a leitos de rios e ao longo de cursos d'água, embora também sejam encontradas em terra firme (Sampaio, 1999).

O manejo florestal é baseado no uso sustentável de produtos florestais madeireiros e não madeireiros, porém, primeiro é necessário realizar um inventário florestal, que consiste em mensurar as variáveis dendrométricas, as características morfofisiológicas das árvores e o bioma onde são encontradas (Sanquetta *et al.*, 2009). Gerar equações com confiabilidade estatística para estimar a relação hipsométrica, bem como a distribuição diamétrica das espécies florestais é de extrema importância para o manejo sustentável em florestas nativas.

O objetivo da relação hipsométrica é obter a altura de árvores individuais, e existem dois aspectos fundamentais que devem ser levados em consideração na sua construção. O primeiro é o sistema de amostragem das árvores para medição de altura e do modo de agrupamento destas para o ajuste da curva altura-diâmetro. O segundo envolve a identificação do melhor modelo a ser utilizado, ou seja, como os modelos se comportam diante às particularidades da amostra utilizada no ajuste e como ela influencia o desempenho dos modelos, quando estes estimam a altura das árvores que tiveram somente o diâmetro medido (Batista *et al.*, 2001).

Este trabalho teve como objetivo comparar diferentes modelos estatísticos de relação hipsométrica para estimativa de altura do fuste de *Carapa guianensis* em floresta de várzea estuarina.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O local de estudo compreende uma área de floresta ombrófila densa aluvial (Várzea), que está localizada na região norte do arquipélago de Gurupá no distrito de Itatupã- PA, possuindo uma área total de 8.540.032 km², a maior parte do município é composta por planícies de inundação cerca de 57,9% da área total, restando 28,3% de áreas de terra firme e 18,3 de redes hidrográficas (Trindade & Gorayeb, 2010).

Ajuste dos modelos

Para comparar o comportamento dos modelos, utilizaram-se dados de diâmetro à 1,30 do solo (D) e de altura do fuste (h_{fi}) de 11 arvores caídas de *Carapa guianensis*. Os modelos foram ajustados aos dados pelo método dos mínimos quadrados ordinários. A estabilidade dos modelos

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

de relação hipsométrica deve ser entendida como a qualidade de um modelo produzir estimativas confiáveis, sem viés e com variância mínima, ao ser aplicado a um conjunto de dados que não é idêntico ao utilizado para ajustá-lo, mas provém da mesma população (Batista *et al.*, 2001).

Foram avaliados cinco modelos estatísticos (1, 2, 3, 4 e 5) encontrados em Silva *et al.* (2022) e Machado *et al.* (1993).

- (1) $h_{fi} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \varepsilon_i$ (Henricksen)
- (2) $\ln h_{fi} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \varepsilon_i$ (Potência)
- (3) $h_{fi} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{D_i} + \varepsilon_i$ (Hiperbólico)
- (4) $h_{fi} = \beta_0 + \beta_1 D_i + \beta_2 D_i^2 + \varepsilon_i$ (Polinômio)
- (5) $\ln h_{fi} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \frac{1}{D_i} + \varepsilon_i$

Em que: h_{fi} = altura do fuste em (m); D_i = diâmetro à 1,30 m do solo em cm; \ln = logaritmo neperiano; β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes de regressão; ε_i = erro aleatório.

Objetivando-se selecionar o melhor modelo de regressão, analisou-se o ajuste de cada equação, fazendo a observação dos critérios estatísticos definidos pelo: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$), valor de F e a distribuição gráfica dos resíduos.

A análise gráfica dos resíduos dos ajustes de regressão é crucial como critério para a seleção do modelo, mesmo quando as estimativas de ajuste de precisão apresentam valores aceitáveis. A dispersão dos pontos ao longo do eixo da variável independente indica claramente se o ajuste subestima ou superestima a variável dependente (Machado *et al.*, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela Tabela 1, observa-se que os modelos testados apresentam variação nos critérios estatísticos, com valores de R^2_{aj} , variando de 0,55 a 0,44 para o modelo 4. O $S_{yx}\%$ apresentou diferença entre os modelos e, o teste F foi significativo para todos os modelos testados. Percebe-se ainda, que os modelos de mesma natureza apresentaram estatísticas semelhantes.

Tabela 1. Coeficientes e critérios estatísticos das equações ajustadas

Modelo	Coeficientes			Critérios		
	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	R^2_{aj}	$S_{yx}(\%)$	F
1	-5,1468 ^{ns}	7,09883*		0,53	22,4	12,43*
2	1,371902*	0,45023*		0,53	23,1	12,45*
3	24,24964*	-138,202*		0,55	21,9	13,43*
4	6,150288 ^{ns}	0,585358 ^{ns}	-0,00521 ^{ns}	0,44	24,4	5,01*
5	3,940512 ^{ns}	-0,16941 ^{ns}	-12,1155 ^{ns}	0,53	23,7	6,68*

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa em %; F = valor de F; $\hat{\beta}_0$, $\hat{\beta}_1$ e $\hat{\beta}_2$ = estimativas dos parâmetros do modelo

Como observado na Tabela 1, os modelos apresentaram valores medianos de R^2_{aj} , demonstrando assim uma correlação entre as variáveis dependente e independente. Os valores de S_{yx} variaram de 21,9 a 24,4%, aceitável para os modelos de melhor desempenho. Como se trata de uma amostra pequena de floresta nativa, pode-se considerar um bom resultado.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Por se tratar de espécies nativas, as quais apresentam fustes tortuosos, pouco aproveitáveis, acabaram gerando uma maior discrepância na relação H/D, isto é, diâmetros elevados e alturas pequenas, ou alturas elevadas com diâmetro menor, gerando assim, uma baixa correlação dessas duas variáveis e valores de R^2_{aj} não elevados, bem como um menor desempenho das demais estatísticas, quando comparado ao ajuste de variáveis dendrométricas com maior correlação biológica (Hess *et al.*, 2014).

Dos modelos testados, o hiperbólico apresentou melhor desempenho nos critérios estatísticos, mas foi realizada análise gráfica dos resíduos dos cinco modelos. Na Figura 1 são apresentados os gráficos da distribuição dos resíduos no ajuste destes modelos. O modelo 3 foi o que apresentou valores aceitáveis.

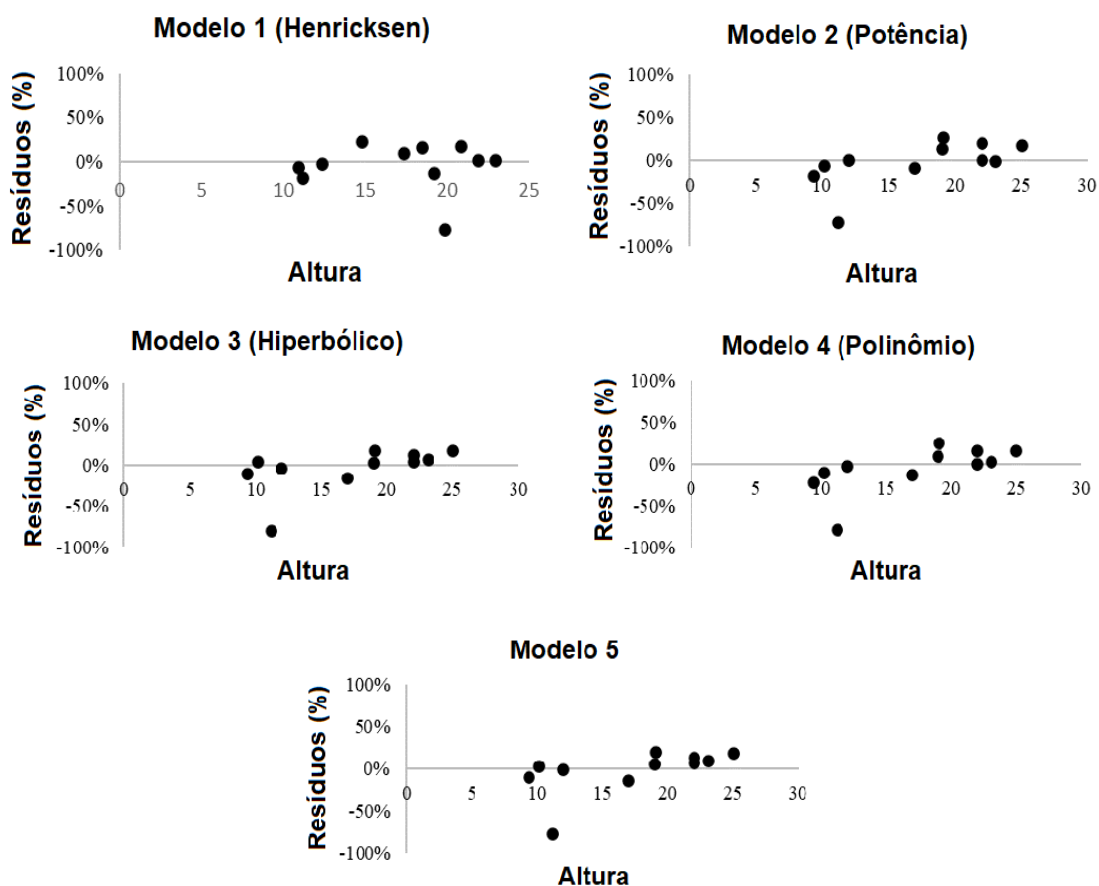


Figura 1. Distribuição gráfica dos resíduos conforme os modelos estudados, em função da altura do fuste

CONCLUSÃO

Dentre os 5 modelos testados para relação hipsométrica de *Carapa guianensis* em floresta de várzea estuarina, o que apresentou melhor resultado nos critérios estatísticos, foi o modelo Hiperbólico (modelo 3).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batista, J. L. F.; Couto, H. T. Z.; Marquesini, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo de três tipos de floresta. **Scientia Forestalis**, n.60, p.148- 163, 2001. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr60/cap12.pdf>. Acesso em: 15 Mar. 2023.
- Hess, A. F.; Braz, E. M.; Thaines, F.; Mattos, P.P. Ajuste de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica. **Ambiência**, v.10 n.1 p. 21-29, 2014. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2014.01.02>.
- Machado, S.A.; Basso, S.F.; Bevilacqua Junior, V.G. Teste de modelos matemáticos para o ajuste da relação hipsométrica em diferentes sítios e idades para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. In: Congresso Florestal Brasileiro, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. v.2, p.553-556.
- Machado, S. A.; Nascimento, R. G. M.; Augustynczyk, A. L. D.; Silva, L. C. R.; Figura, M. A.; Pereira, E. M.; Téó, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.56, p.5-16, 2008. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/download/58/58/67>. Acesso em: 15 Mar. 2023.
- Oliveira, A. N.; Amaral, I. L. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v.34, n.1, p.21-34, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000100004>.
- Sampaio, P. T. B. Copaíba (*Copaifera multijuga*). In: Clay, J. W.; Sampaio, P. T. B.; Clement, C. R. (Eds.). **Biodiversidade amazônica: exemplos e estratégias de utilização**. Manaus: INPA, 1999. p. 207-215. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/36189>. Acesso em: 10 Mar. 2023.
- Sanquetta, C. R.; Watzlawick, L. F.; Côte, A. P. D.; Fernandes, L. A. V.; Siqueira, J. D. P. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2.ed. Curitiba: Multi-Graphic, 2009. 316 p.
- Silva, G. F.; Mendonça, A. R.; Dias, A. N.; Nogueira, G. S.; Silva, J. A. A.; Oliveira, M. L. R.; Ferreira, R. L. C. **Padronização da simbologia em mensuração e manejo florestal**. Viçosa, Edição dos Autores. 2022. 66p. Disponível em: <https://matanativa.com.br/material/padronizacao-da-simbologia-em-mensuracao-e-manejo-florestal/>. Acesso em: 22 Abr. 2023.
- Trindade, R. L. D.; Gorayeb, I. D. S. Maruins (Diptera: Ceratopogonidae: Culicoides), após a estação chuvosa, na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Itatupã-Baquiá, Gurupá, Pará, Brasil. **Revista Pan Amazônica de Saúde**, v.1, n.2, p. 121-130, 2010. <https://doi.org/10.5123/S2176-62232010000200015>.