



## USO DE MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA UMA ÁREA DE MATA NATIVA NO MUNICÍPIO DO OIAPOQUE NO ESTADO DO AMAPÁ

Adenilda Ribeiro de Moura<sup>1</sup>, José Antônio Aleixo da Silva<sup>1</sup>, Jadson Coelho de Abreu<sup>2</sup>, Adelilson Chagas Rodrigues<sup>3</sup>, Rogério dos Santos Cardoso<sup>4</sup>

1 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. E-mail: adenildamoura@gmail.com; jaaleixo@uol.com.br

2 Universidade do Estado do Amapá, Macapá, AP, Brasil. E-mail: jadson.abreu@ueap.edu.br

3 Mineral Engenharia e Meio Ambiente LTDA. Macapá- AP, E-mail: adelilson.bio.mar@hotmail.com

4 AMCEL, Macapá, AP, Brasil. E-mail: rogerio.cardoso@amcel.com.br

Autora correspondente: Adenilda Ribeiro de Moura. E-mail: adenildamoura@gmail.com.

### RESUMO

O objetivo do estudo foi ajustar cinco modelos matemáticos de relação hipsométrica (Linha Reta; Parabólico, Henricksen, Stoffel; Curtis) para estimativa de altura na Amazônia. Os dados são provenientes do levantamento de campo realizado em uma área de 1000 m<sup>2</sup> sob denúncia de supressão de árvores para fins madeireiros no município do Oiaipoque-AP. Para os modelos testados se utilizaram como variável dependente altura total (H) e independente o diâmetro a 1,30 m do solo (D). Foram analisadas estatisticamente: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ), erro padrão da estimativa percentual ( $S_{yx}\%$ ) e a distribuição gráfica dos resíduos. As equações que apresentaram os menores valores (absolutos e relativos) foram os testados pelos modelos de Curtis e Stoffel, com  $R^2_{ajust}$ , 0,48 e 0,47 respectivamente. Quanto à análise residual os modelos, Linha Reta, Curtis e Stoffel apresentaram-se ligeiramente mais favoráveis ao modelo de Henricksen. Pois, nestes modelos observa-se uma homogeneidade dos resíduos. Portanto, como, são poucos os estudos das relações hipsométricas em espécies de mata nativa, em especial a Amazônia Brasileira, sugere, avaliar uma quantidade maior da amostra, bem como testar outros modelos hipsométricos para poder compreender melhor o comportamento da relação H/D.

**Palavras-chave:** Amazônia; equações; floresta nativa

## USE OF HYPSONOMETRIC MODELS FOR A NATIVE FOREST AREA IN THE MUNICIPALITY OF OIAPOQUE IN AMAPÁ STATE, BRASIL

### ABSTRACT

The objective of the study was to adjust five mathematical models of hypsometric relationship (Straight Line; Parabolic, Henricksen, Stoffel; Curtis) for the height of 20 forest species in the Amazon. The data come from the field study conducted on an area of 1000 m<sup>2</sup> under a complaint of tree felling for timber purposes in the municipality of Oiaipoque-AP. For the models tested, the dependent variable was total height (H) and the diameter at 1.30 m from the ground (D) was used as the independent variable. The following were analyzed statistically: adjusted coefficient of determination ( $R^2_{adjust}$ ), standard error of percentage estimate ( $S_{yx}\%$ ) and graphical distribution of residuals. The models that presented the lowest values (absolute and relative) were those tested by the Curtis and Stoffel models, with  $R^2_{adjust}$  0.48 and 0.47 respectively. As for the residual analysis, the models, Straight Line, Curtis and Stoffel were slightly more favorable to Henricksen's model. Therefore, in these models there is a homogeneity of the residues. Therefore, as there are few studies on hypsometric relationships in native forest species, especially in the Brazilian Amazon, we suggest evaluating a larger sample size, as well as testing other hypsometric models in order to better understand the H/D relationship.

**Key words:** Amazon; equations; native Forest

### ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



## INTRODUÇÃO

O município de Oiapoque, localizado a 600 km de Macapá, capital do estado do Amapá, apresenta fitofisionomias florestais representativas do bioma Amazônico. Porém, as espécies florestais ali existentes apresentam uma fragilidade, devido à exploração ilegal da madeira, aliado à carência de informações sobre as espécies nativas. Porém, a mensuração florestal em florestas nativas não é tarefa fácil, devido à complexidade em visualizar a copa das árvores (Abreu *et al.*, 2011).

Assim, é importante conhecer o povoamento florestal por meio da relação hipsométrica, que consiste correlacionar a variável altura de uma árvore em função de seu D (relação altura-diâmetro), permitindo assim, o detalhamento da estrutura vertical do povoamento (Azevedo *et al.*, 2011).

Se tratando de florestas nativas, a distribuição diamétrica de espécies florestais é de extrema importância para o manejo sustentável das florestas, pois na sua maioria apresentam grande interesse econômico. Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo ajustar cinco modelos matemáticos de relação hipsométrica para a altura de espécies florestais da Amazônia.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área

O estudo foi desenvolvido em uma área que fica ao lado da base da Aeronáutica nas coordenadas geográficas: N03°50'216" W051°49'293" Município de Oiapoque, Amapá. O levantamento de campo foi realizado em uma área de 1000m<sup>2</sup> sob denúncia de supressão de árvores para fins ilegais do uso da madeira. Foram identificadas 20 árvores e mensuradas a circunferência a 1,30 m do solo (C), com fita métrica, posteriormente transformada em diâmetro (D), e uma trena para medir a altura total (H) das árvores suprimidas. Após a obtenção dos dados de D e H, eles foram empregados para o ajuste de modelos de relação hipsométrica: Linha Reta; Parabólico; Henricksen; Stoffel e Curtis. Utilizando-se o software Office Excel (2018) como ferramenta de análise para regressão e para fins de processamento das avaliações.

### Ajuste de modelos hipsométricos

Foram testados quatro modelos hipsométricos (Tabela 1) sendo utilizada como variável dependente altura e a variável independente o diâmetro de espécies arbóreas da Amazônia.

**Tabela 1.** Modelos hipsométricos ajustados para estimativa da variável altura em espécies arbórea da Amazônia

Número	Nome	Modelo
1	Linha Reta	$H = \beta_0 + \beta_1 D + \varepsilon$
2	Parabólico	$H = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 * D^2 + \varepsilon$
3	Henrickson	$H = \theta_0 + \theta_1 \ln D + \varepsilon$
4	Stoffel	$\ln H = \theta_0 + \theta_1 \ln D + \varepsilon$
5	Curtis	$\ln H = \theta_0 + \theta_1 1/D + \varepsilon$

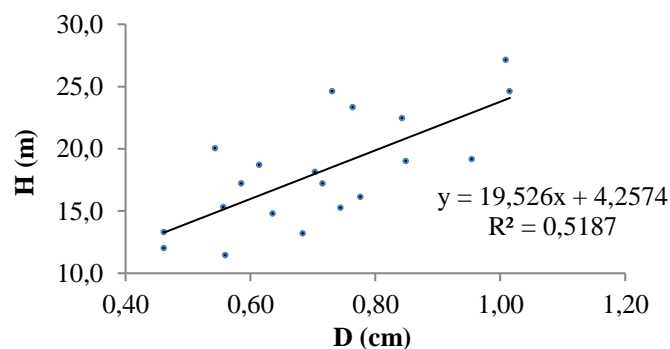
Em que: H - Altura total das árvores (m);  $\beta_0, \beta_1$  = parâmetros do modelo; Ln- logaritmo neperiano; D - diâmetro à 1,30 m do solo;  $\varepsilon$  - erro aleatório

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Para a seleção do melhor modelo, foram avaliados os seguintes critérios: distribuição gráfica dos resíduos, ajuste da regressão para os dados observados, coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ). Em que, o coeficiente de determinação  $R^2$ , expressa a quantidade de variação dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Erro padrão da estimativa absoluto ( $S_{yx}$ ) e relativo ( $S_{yx}\%$ ) explica que quanto mais próximo de zero melhor, mais preciso são os modelos. Já a análise gráfica do resíduo (%) foi realizada para verificar a tendenciosidade das variáveis.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a relação entre a variável dependente H (m) e a variável independente o D (cm) para espécies arbóreas (Figura 1), percebe-se uma amplitude diamétrica de 0,40 cm a 1,00 m e a altura de 10,0 m a 29 m.



**Figura 1.** Distribuição dos dados observados de altura em função do diâmetro à 1,30 m do solo para espécies arbóreas no município do Oiapoque-AP

É importante observar que, por se tratar de espécies nativas, bem como, em plantios mistos, apresenta uma maior heterogeneidade no desenvolvimento das árvores (Ré *et al.*, 2015). Em relação a estimativas dos parâmetros, observa-se que as espécies arbóreas 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 (Hess *et al.*, 2014). Para compreender melhor a correlação entre as variáveis, foram realizados os ajustes de cinco modelos hipsométricos (Tabela 2).

**Tabela 2.** Modelos hipsométricos utilizados para obtenção da altura (m) em função do diâmetro à altura do peito (cm), em 20 espécies arbóreas inventariadas no município do Oiapoque

Modelo	Equação Matemática
Linha Reta	$H=4,2574 + 19,5256D$
Parabólico	$H = 7,92509 + 9,13771D - 7,03015D^2$
Henricksen	$H= 23,136 - 13,62LnD$
Stoffel	$H=EXP(3,067 + 0,7575LnD)1,0159$
Curtis	$H=EXP(3,6096 - 0,5*I/D)1,0163$

Em que: H - Altura das árvores (m); Ln - logaritmo neperiano; D - diâmetro 1,30m do solo (cm)

Os ajustes dos cinco modelos hipsométricos apresentaram um  $R^2_{aj}$ , inferior a 0,5 que pode ser considerado baixo grau de ajuste, da mesma forma que é comum para levantamentos de espécies

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

nativa, as quais também apresentarem maior erro padrão da estimativa. Para o presente estudo as equações que apresentaram os menores valores (absolutos e relativos de erro padrão), foram os testados pelos modelos de Curtis e Stoffel, ambos apresentaram melhores desempenhos. Analisando o critério de importância, o modelo de Linha Reta apresentou o maior  $R^2_{aj}$ . em seguida o modelo de Curtis, conforme apresentado na Tabela 3 em que o modelo de Curtis apresentou com  $S_{yx}$  de 15% e  $R^2$  igual a 0,48.

**Tabela 3.** Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos nos ajustes dos modelos hipsométricos em 20 espécies arbórea inventariadas no município do Oiapoque

Modelos	Estatística de Ajuste					
	$b_0$	$b_1$	$R^2_{ajustado}$	$S_{xy}$	$S_{xy}\%$	F
Linha Reta	4,257	19,525	0,49	3,19	17,57	19,40
Parabólico	7,907	9,137	0,46	3,27	18,03	9,23
Henricksen	23,136	13,624	0,47	3,22	17,80	18,40
Curtis	3,609	-0,49	0,48	2,74	15,27	17,75
Stoffel	3,146	0,757	0,47	2,67	14,77	18,82

Em que:  $b_0, b_1$  – coeficiente de regressão;  $R^2_{aj}$ . = Coeficiente de determinação ajustado;  $S_{xy}$  = Erro padrão da estimativa absoluto;  $S_{xy}\%$  = Erro padrão da estimativa relativo; F = valor de F calculado

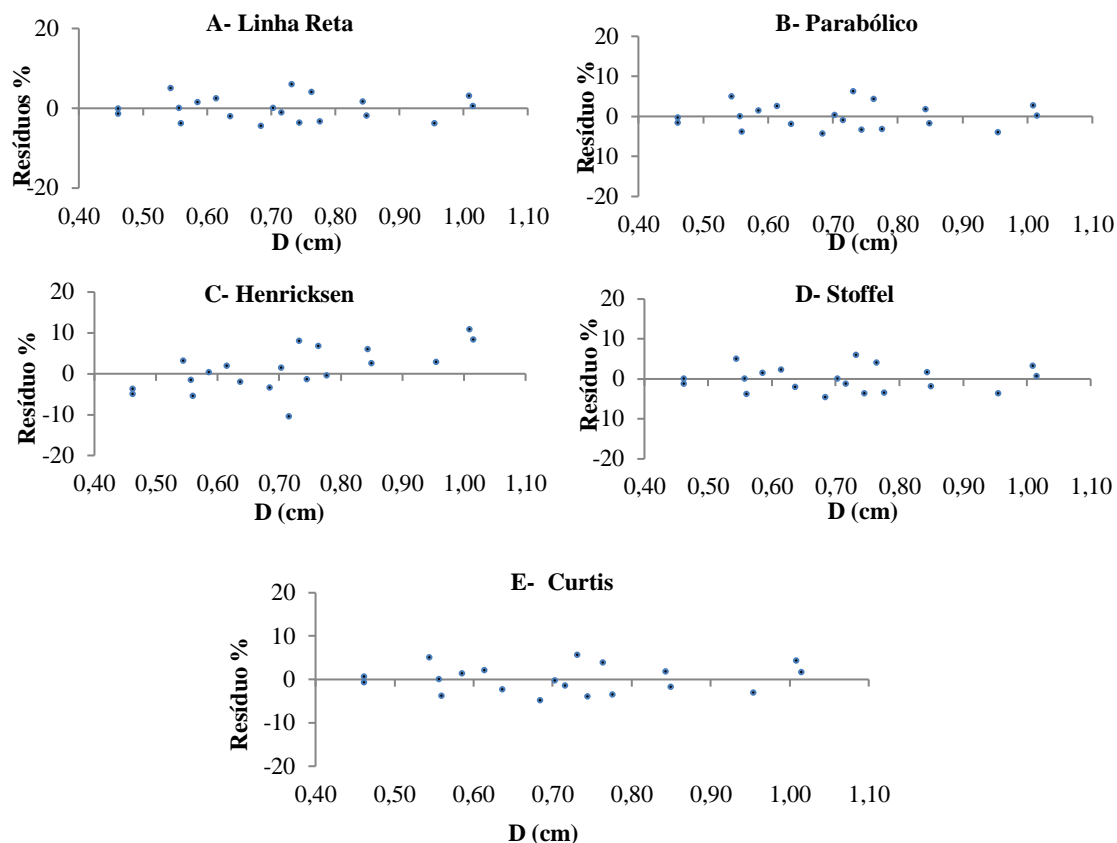
Em análise da estimativa da altura e do volume em povoamentos jovens de restauração florestal em Rondônia, Sanquetta *et al.* (2017) observaram que os modelos hipsométricos Linha Reta, Stoffel, Curtis e Henricksen, apresentaram resultados satisfatórios, com  $S_{yx}$  de 15% e  $R^2$  variando entre 0,5443 e 0,5946, sendo o modelo de Henricksen selecionado como o melhor. Hess *et al.* (2014) ajustaram modelos de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica e obtiveram  $R^2_{aj}$  variando desde 0,17 até o valor de 0,97 e entre 0,08 % e 13,2 % e relatam a complexidade do ajuste de modelos hipsométricos em mata nativa. Segundo Abreu *et al.* (2011), estudos dessa natureza ainda é escasso no estado do Amapá, o que dificulta na definição do melhor modelo ajustado.

É possível observar que os modelos, Linha Reta, Curtis e Stoffel apresentaram-se ligeiramente mais favoráveis ao modelo de Henricksen (Figura 2). Pois nestes modelos observa-se uma homogeneidade dos resíduos. Na análise residual observa-se que o modelo de Henricksen pode subestimar até 10%. Segundo Machado *et al.* (2019), quando ajustaram modelos hipsométricos em um fragmento do Cerrado em Tocantis, verificaram na análise residual, uma tendência dos modelos de superestimar a altura, chegando até 40 %.

### CONCLUSÃO

Com base na distribuição dos resíduos, juntamente com o erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), o modelo de Henricksen foi o único que não se ajustou bem aos dados. Como, são poucos os estudos das relações hipsométricas em espécies de mata nativa em especial a Amazônia Brasileira, sugere, avaliar uma quantidade maior da amostra, bem como testar outros modelos hipsométricos para poder compreender melhor o comportamento da relação H/D.

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal



**Figura 2.** Distribuição gráfica dos resíduos de cinco modelos hipsométricos, em função da altura total observada em 20 espécies arbórea inventariadas no município do Oiapoque. Distribuição dos resíduos em função do diâmetro à 1,30 m do solo (D em cm), em que **A** - Modelo da Linha Reta; **B** – Modelo Parabólico, **C** - Modelo de Henricksen, **D** - Modelo de Stoffel; **E** - Modelo de Curtis

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J. C.; Marangon, G. P.; Anjos, R. V.; Holanda, A. C. Modelagem hipsométrica em uma floresta de várzea na região adjacente a foz do rio Amazonas. **Revista Verde**, v.6, n.4, p. 213 - 218. 2011. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1095>. Acesso em: 12 Mar. 2023.
- Azevedo, G. B.; Sousa, G. T. O.; Silva, H. F.; Barreto, P. A. B.; Novaes, A. B. Seleção de modelos hipsométricos para quatro espécies florestais nativas em plantio misto no Planalto da Conquista na Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p.1-13, 2011. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4528>. Acesso em: 11 Mar. 2023.
- Hess, A.F.; Braz, E.M.; Thaianes, 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, I. E. S.; Medeiros, P.C.A.; Carvalho, C.A.M.; Santana, T. F.; Andrade, V. C. de L. Modelos hipsométricos ajustados para um fragmento de cerrado Sensu Stricto Tocantinense. **Revista Agrogeambiental**, v. 11, n. 1, e20191174, 2019. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v11n120191174>.
- Sanquetta, C. R.; Sanquetta, M. N. I.; Bastos, A.; Queiroz, A.; Corte, A. P. D. Estimativa da altura e do volume em povoamentos jovens de restauração florestal em Rondônia. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2 n. 2, p. 23-31, 2017. <https://doi.org/10.5380/biofix.v2i2.54124>.
- Ré, D. S.; Engel, V. L.; Ota, L. M. S.; Jorge, L. A. B. Equações alométricas em plantios mistos visando à restauração da floresta estacional semidecidual. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 133-140, 2015. <https://doi.org/10.1590/01047760201521011452>.