





**ESTUDO DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA *Nectandra megapotamica***  
**(Spreng.) Mez EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NA REGIÃO DO**  
**MÉDIO ALTO URUGUAI – RS**

Eduardo Benson Santos Barboza<sup>1</sup>, Thaiane Káren Martins<sup>1</sup>, Magda Lea Bolzan  
Zanon<sup>1</sup>

1 Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: eduardo.barboza@acad.ufsm.br; thaiane.karen@acad.ufsm.br; magdazanon@ufsm.br  
Autora correspondente: Magda Lea Bolzan Zanon. E-mail: magdazanon@ufsm.br.

**RESUMO**

A relação hipsométrica é amplamente utilizada em operações florestais devido aos seus modelos de ajuste que, facilitam os inventários, reduzindo seu tempo e custo. Isto posto, o objetivo deste trabalho foi ajustar modelos hipsométricos para *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, em um remanescente de Floresta Estacional Decidua, no município de Frederico Westphalen/RS, sendo utilizados 4 modelos para ajuste e estimativa das alturas. Como critérios de seleção foram utilizados os seguintes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx\%}$ ), coeficiente de variação (CV%), valor de F calculado e análise gráfica dos resíduos. Após análise dos critérios, o modelo com melhor ajuste e precisão na estimativa das alturas foi  $\hat{H} = 1,83415 + 0,80255.D - 0,01291.D^2 + 0,00007.D^3$ , que apresentou:  $R^2_{aj}$  de 0,6068,  $S_{yx\%}$  de 30,8, Fcal de 20,59 e CV de 25,06%.

**Palavras-chave:** espécie nativa; modelo matemático; relação altura e diâmetro

***STUDY OF THE HYPOMETRIC RELATION FOR *Nectandra megapotamica****  
***(Spreng.) Mez IN DECIDUAL SEASONAL FOREST IN THE MIDDLE-HIGH***  
***REGION URUGUAY-RS, BRAZIL***

**ABSTRACT**

The hypsometric relationship is widely used in forestry operations because of its adjustment models that facilitate inventories, reducing their time and cost. That said, the objective of the present work was to adjust hypsometric models for *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez in a remnant of Seasonal Deciduous Forest in the municipality of Frederico Westphalen-RS, Brazil. To estimate the tree heights, 4 hypsometric models (h/d) were selected for fitting. As selection criteria for model fitting, the following statistical parameters were used: adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj}$ ), standard error of the estimation in percentage ( $S_{yx\%}$ ), coefficient of variation (CV%), calculated F and graphical analysis of residues. After analyzing the criteria, the fitted model were:  $\hat{H} = 1,83415 + 0,80255.D - 0,01291.D^2 + 0,00007.D^3$ , with  $R^2_{aj}$  of 0.6068;  $S_{yx\%}$  of 30.8; F of 20.59 and CV of 25.06%.

**Key words:** native species; mathematical model; hypsometric relationship



### INTRODUÇÃO

A medição da altura total (H) de uma árvore necessita mais tempo e atenção comparada a medição do diâmetro a 1,30m do solo (D), em virtude da ocorrência de fatores como por exemplo, a dificuldade em observar, principalmente, o ápice da árvore, devido densidade do povoamento e elevado dossel (Soares *et al.*, 2011). Além disso o treinamento inadequado para o uso dos equipamentos de medições de altura e declividades dos terrenos corroboram com o tempo de medição (Silva *et al.*, 2017).

Nos estudos da modelagem hipsométrica, os modelos devem ter alto grau de confiança nas predições das variáveis dependentes, pois cada espécie apresenta um padrão próprio de crescimento, que varia conforme a idade, a qualidade do sítio e demais condições ambientais. Estes fatores específicos, corroboram para diferentes interações entre os modelos matemáticos, podendo superestimar ou subestimar as alturas, e em razão disso, o modelo deve ser escolhido a partir do melhor ajuste aos dados observados nos levantamentos (Batista, 2001).

Estudos sobre a relação hipsométrica em florestas nativas são pouco difundidos e, conseqüentemente, não há modelos existentes para a maioria das espécies. Em detrimento a isso, vale ressaltar a importância de realizar mais estudos nestes ambientes, gerando uma maior quantidade de informação para auxiliar na estimativa de alturas das espécies nestes locais.

Este trabalho teve como objetivo ajustar e selecionar modelos de relação hipsométrica para a espécie *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, encontrada na floresta estacional decidual na região do Médio Alto Uruguai, RS.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Localização da área de estudo e coleta de dados

O estudo foi realizado em um fragmento com área de 56 hectares, pertencente a Floresta Estacional Decidual, localizados no município de Frederico Westphalen (RS). De acordo com Alvares *et al.* (2013), o clima regional é do tipo Subtropical úmido (Cfa), caracterizado por chuvas bem distribuídas durante o ano e ausência de estação de seca. Os solos predominantes na região são do tipo Latossolos Vermelhos Distroféricos (Embrapa, 2018).

Os dados são provenientes de 9 parcelas permanentes de 20m x 50 m com orientação no sentido Leste-Oeste, distribuídas de forma aleatória na área de estudo. A campo todas as árvores com circunferência a 1,30 m do solo (C) maiores ou igual a 15,7 cm foram medidas com fita métrica e após convertidas em diâmetros, e suas alturas foram mensuradas com o Vertex IV.

Para este estudo foi selecionada a espécie *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, pois entre as espécies encontradas na área, esta possui grande representatividade e por ser uma espécie característica de Florestas Estacional Decidual. O número total amostrado na área foi de 37 indivíduos.

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

### Ajustes de modelos hipsométricos e critérios de seleção do melhor modelo

Para analisar o desempenho dos modelos nos ajustes dos dados coletados, foram utilizados 4 modelos hipsométricos (Tabela 1).

Tabela 1 - Modelos hipsométricos testados para estimar altura em função do diâmetro

Equação	Modelos
1	$H - 1,30 = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \varepsilon$
2	$H = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 D^3$
3	$\log(H - 1,30) = \beta_0 + \beta_1(1/D) + \varepsilon$
4	$\log(H) = \beta_0 + \beta_1 \log(D) + \varepsilon$

Em que: H = altura total (m); D = diâmetro a 1,30 m do solo (cm);  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes dos modelos;  $\varepsilon$  = erro aleatório; log = logaritmo na base 10

Para a seleção dos modelos foram utilizados os critérios estatísticos: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ); erro padrão da estimativa (Syx %); coeficiente de variação percentual (CV%); valor de F de Fischer calculado do quadro de análise de variância (Fcal) e análise gráfica dos resíduos. Para corrigir o erro sistemático (discrepância logarítmica), foi utilizado o fator de correção de Meyer (Meyer, 1941). O processamento e análise dos dados foram realizados no Excel.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se que a variável D apresentou maior amplitude de variação, com CV de 78,9%, esse elevado valor pode ser justificado pela capacidade de regeneração da espécie. Já a variável a altura apresentou menor variação, com CV% de 49,1% (Tabela 2).

Tabela 2. Estatística descritiva da variável diâmetro a 1,30m do solo (D) e altura total (H) para *Nectandra megapotamica*

Estatísticas	D (cm)	H (m)
Máximo	94,9	28,0
Mínimo	5,7	5,0
Média	26,9	13,5
Desvio Padrão	21,2	6,7
Coeficiente Variação %	78,9	49,1

Na Tabela 3, observa-se que os valores de  $R^2_{aj}$  variaram de 0,59851 a 0,61083, Syx % entre 30,81 a 31,99 %, Fcal entre 20,59 a 51,78, e CV entre 25,06 a 28,99%.

Tabela 3 – Coeficientes estimados e critérios de seleção dos modelos para a espécie *Nectandra megapotamica*

Equação	Coeficientes				Critérios de seleção			
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$R^2_{aj}$	Syx%	Fcal	CV (%)
1	2,99001	0,45261	-0,00265	-	0,59851	31,13	28,94	26,95
2	1,83415	0,80255	-0,01291	0,00007	0,60678	30,81	20,59	25,06
3	1,27946	-3,92799	-	-	0,60444	31,99	43,75	29,26
4	0,38882	0,52288	-	-	0,61083	31,73	51,78	28,99

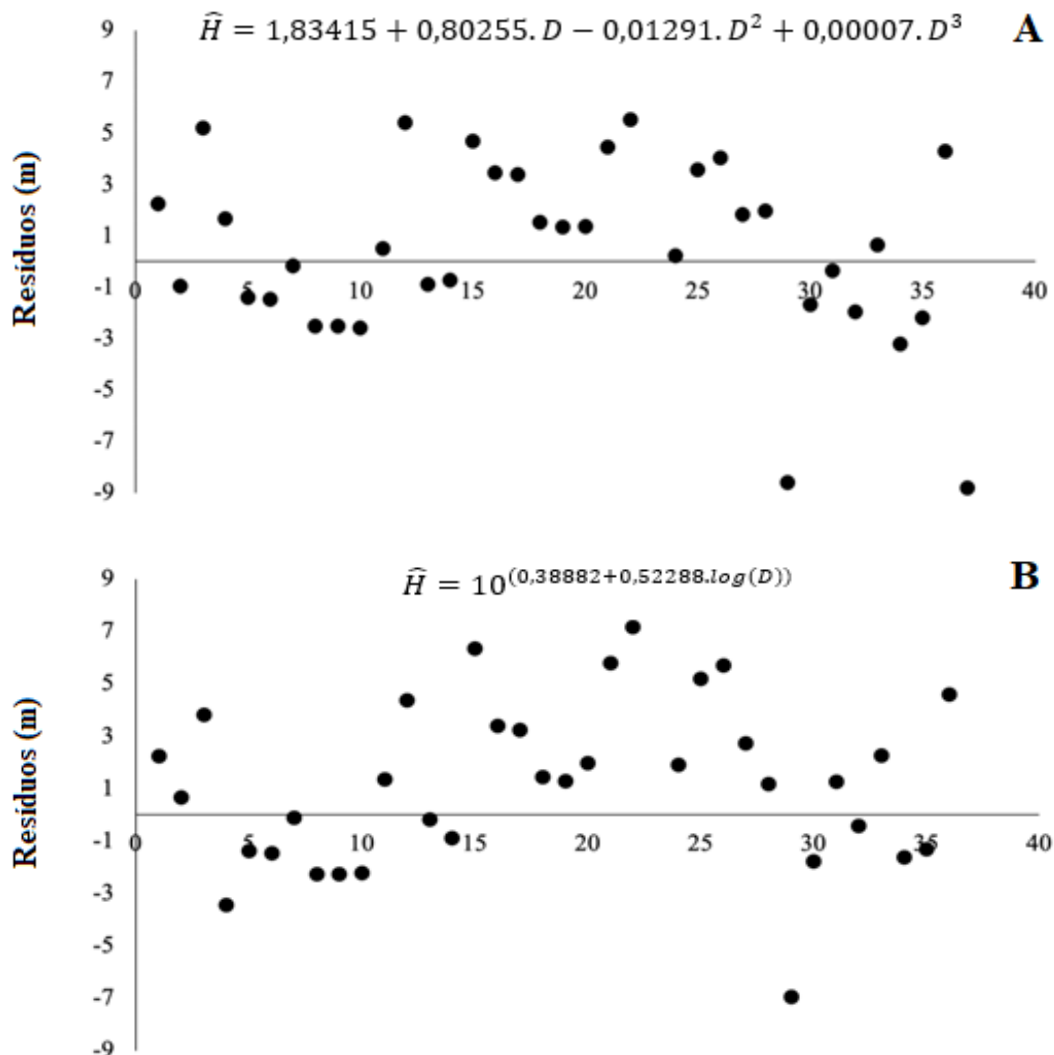
Em que:  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  e  $b_3$  = coeficientes estimados;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{YX}\%$  = erro padrão da estimativa percentual; CV% = coeficiente de variação percentual; Fcal = teste F da análise de variância

Ao estudar a relação H/D para *Nectandra lanceolata* no estado do Paraná, Silva (2019) encontrou para os melhores modelos valores de  $R^2_{aj}$  variando de 0,5432 até 0,8549 e Syx% de 11,62 a 24,59%, ou seja, valores maiores de  $R^2_{aj}$  e Syx% menores em relação a este estudo. Já

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Cubas *et al.* (2018) para *Ocotea porosa*, *Ocotea puberula* e *Cinnamomum amoenum* em Santa Catarina, encontrou valores de  $R^2_{aj.}$  entre 0,31 a 0,72 e,  $Syx\%$  entre 17,27 a 21,53%.

Na Figura 1 se pode visualizar os gráficos de resíduos dos modelos 2 (Figura 1A) e 4 (Figura 1B), respectivamente.



**Figura 1.** Distribuição de resíduos dos modelos matemáticos de melhor ajuste, sendo modelo 2 (A) e modelo 4 (B)

Nota-se na Figura 1 a presença de pontos discrepantes, ocasionados devido a variação da relação H/D, que subestimou as alturas para os modelos. No modelo 2, isto foi analisado em cerca de 59% dos indivíduos e, além disso, 67% dos indivíduos tiveram suas alturas estimadas em 3,0 m para mais ou para menos em relação à altura observada. Já para o modelo 4, cerca de 56% dos indivíduos tiveram sua altura subestimada, e apresentaram superestimativas e subestimativas em torno de 3,0 m, para aproximadamente 62% dos indivíduos.

No ajuste da relação H/D para espécies da floresta amazônica, Hess *et al.* (2014) relatam que, por serem espécies nativas apresentam maior variação no fuste, ocasionando uma maior discrepância na relação altura e diâmetro a 1,30m do solo. Com isso, quando a relação hipsométrica é composta por altos valores de diâmetros e baixos valores de altura (ou ao

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

contrário), resultam em uma baixa correlação, reduzindo o valor do  $R^2_{aj.}$ , o que justifica os valores encontrados no atual estudo.

### CONCLUSÃO

O modelo 2, representado por  $\hat{H} = 1,83415 + 0,80255.D - 0,01291.D^2 + 0,00007D^3$ , apresentou maior precisão nos ajustes para estimar a relação hipsométrica para *Nectandra megapotamica*, seguido do modelo 4, que também poderia ser utilizado nas estimativas da variável dependente.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Spaarovek, G. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Batista, J. L. F. **Mensuração de árvores**: uma introdução a dendrometria. 1.ed. Piracicaba: USP, 2001. p. 1-83.
- Cubas, R.; Costa, E. A.; Cavali, J. P. Relação Hipsométrica de quatro espécies arbóreas em Floresta Ombrófila Mista. In: Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal, 4., 2018, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2018. p.504-508. [https://www.researchgate.net/publication/344690410\\_Anais\\_do\\_IV\\_Encontro\\_Brasileiro\\_de\\_Mensuracao\\_o\\_Florestal](https://www.researchgate.net/publication/344690410_Anais_do_IV_Encontro_Brasileiro_de_Mensuracao_o_Florestal). 06 Abr. 2023.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 355 p.
- 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>.
- Meyer, H. A. **A correction for a systematic error occurring in the application to the logarithmic equation**. Harrisburg, PA: Forestry School Research, 1941. 3 p. (Journal Series of the Pennsylvania Agriculture Experimental Station. Report, 1058).
- Silva, G. F. D.; Môra, Rômulo.; Curto, R. D. A. Simulação de erros na medição de altura de árvores inclinadas com aparelhos baseados em princípios trigonométricos. **Nativa**, v. 5, n. 5, p. 372-379, 2017. <https://doi.org/10.5935/2318-7670.v05n05a12>. 15 Jan. 2023.
- Silva, R. L. da. **Volumetria e relação hipsométrica para um fragmento Ecótono de Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila Mista em Dois Vizinhos, PR**. 2019. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10998/1/DV\\_COENF\\_2019\\_1\\_08.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10998/1/DV_COENF_2019_1_08.pdf). Acesso em: 06 Abr. 2023.
- Soares, C. P. B.; Martins, F. B.; Junior, H. U. L.; Silva, G. F. da.; Figueiredo, L. T. M. de. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1039-1051, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000600010>.