



## AJUSTE DE MODELOS DE VOLUME PARA DIFERENTES HÍBRIDOS DE EUCALIPTO NO SEMIÁRIDO

Isadora Ferraz Chagas<sup>1</sup>, Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia<sup>1</sup>, Fabiano Rodrigues  
Pereira<sup>2</sup>, Thaís Chaves Almeida<sup>1</sup>, Rebeca Malta Veríssimo<sup>1</sup>

1 Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, Brasil. E-mail: isadoraferraz.engflo@gmail.com; patriciabarreto@uesb.edu.br; florestal.thais@gmail.com; rebeca.malta@hotmail.com  
2 Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil. E-mail: fabiano.engflo@gmail.com  
Autora correspondente: Isadora Ferraz Chagas. E-mail: isadoraferraz.engflo@gmail.com

### RESUMO

O gênero *Eucalyptus* é o mais difundido em plantios florestais no Brasil e a estimativa da sua produção volumétrica é uma etapa fundamental do planejamento do uso e comercialização da sua madeira. A técnica mais comumente utilizada para estimar o volume das árvores é o emprego de equações ajustadas selecionadas por meio de estatísticas adequadas. Objetivou-se com este estudo testar e comparar modelos volumétricos, selecionando a equação mais indicada para estimar o volume de híbridos de *Eucalyptus*. Os dados utilizados neste estudo foram obtidos de um plantio comercial de eucalipto, de sete anos de idade, composto por sete clones de híbridos do gênero e situado na Fazenda Baixão, no distrito de Pradoso, município de Vitória da Conquista, Bahia. Foram cubadas 158 árvores por meio do método de Smalian, obtendo-se o volume real das árvores. Foram testados dez modelos comumente utilizados para estimar o volume de eucalipto. Para selecionar as melhores equações volumétricas, foram analisados os critérios erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e análise gráfica da dispersão dos resíduos. A equação ajustada selecionada foi a de Schumacher e Hall logaritimizada, por apresentar melhor desempenho nas predições de volume.

**Palavras-chave:** Cubagem rigorosa; dendrometria; equações volumétricas; mensuração

## ADJUSTMENT OF VOLUME MODELS FOR DIFFERENT EUCALYPTUS HYBRIDS IN THE SEMI-ARID REGION

### ABSTRACT

The genus *Eucalyptus* is the most widespread in forest plantations in Brazil and the estimation of its volumetric production is a fundamental step in planning the use and commercialization of its wood. The most commonly used technique to estimate the volume of trees is the use of fitted equations selected by means of appropriate statistics. The objective of this study was to test and compare volumetric models, selecting the most appropriate equation to estimate the volume of *Eucalyptus* hybrids. The data used in this study were obtained from a seven years old commercial eucalyptus plantation, composed of seven eucalyptus hybrid clones, located on the Baixão Farm, in the Pradoso district, municipality of Vitória da Conquista, Bahia, Brazil. A total of 158 trees were cubed using the Smalian method, obtaining the actual volume of the trees. Ten models commonly used to estimate eucalyptus volume were tested. To select the best volumetric equations, the following criteria were analyzed: standard error of estimate ( $S_{yx}$  and  $S_{yx}\%$ ), coefficient of determination ( $R^2$ ), square root of the mean error (RMSE) and graphical analysis of the dispersion of residuals. The adjusted equation selected was the logarithmized Schumacher and Hall equation, as it presents better performance in volume predictions.

**Key words:** Rigorous cubing; dendrometry; volumetric equations; measurement

### ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



### INTRODUÇÃO

A produção de florestas plantadas no Brasil está em progressiva expansão no Brasil, como resultado da crescente demanda de madeira. Dentre as espécies arbóreas mais plantadas no país, destacam-se as do gênero *Eucalyptus*, que são valorizadas mundialmente dado o seu rápido crescimento, adaptabilidade a diversas condições edafoclimáticas e a boa qualidade da sua madeira, que pode ser empregada para uma grande variedade de usos (Smethurst *et al.*, 2020).

A estimativa da produção volumétrica de madeira é uma etapa fundamental do planejamento e uso adequado dos recursos disponíveis em uma floresta. (Biazatti *et al.*, 2020). A técnica mais comumente utilizada para estimar o volume de madeira é o emprego de variáveis de fácil obtenção, como o diâmetro a 1,30m do solo (D) e altura para o ajuste de modelos volumétricos (Dai *et al.*, 2021).

Ainda que muitos modelos sejam eficientes, nem sempre os mesmos se ajustam a todas as espécies e condições, fazendo-se necessário testá-los por meio de estatísticas adequadas. O modelo apropriado deve permitir a obtenção de estimativas com alto nível de confiabilidade, condizentes com a realidade (Ferreira & Batista, 2021).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi testar e comparar modelos volumétricos, selecionando a equação de melhor ajuste e precisão para estimar o volume de híbridos de *Eucalyptus*.

### MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos em um plantio comercial de *Eucalyptus* com sete anos de idade, composto por sete híbridos produzidos por via clonal, distribuídos em renques de três fileiras intercaladas de forma aleatória, em espaçamento 3 x 4m.

O plantio está localizado na Fazenda Baixão, no distrito de Pradoso, município de Vitória da Conquista, Bahia. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é o tropical de altitude. O relevo é plano a levemente ondulado com altitude em torno de 880 m. O solo possui textura argilosa e pertence à classe Latossolo Amarelo Distrófico.

Foram cubadas 158 árvores por meio do método de Smalian. Os diâmetros ao longo do fuste foram medidos, com o auxílio de uma suta, nas posições relativas de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 e 90% em relação à altura total da árvore. Além disso, foi medido o diâmetro a 1,30m do solo (D) de cada árvore e também a altura total do fuste (H), sendo essa última obtida com auxílio de uma fita métrica.

Do total de árvores da cubagem rigorosa, 70% (120 árvores) foi empregado nos ajustes dos modelos volumétricos, e 30% (51) foi utilizado para validação dos ajustes dos modelos, assim como feito por Leal *et al.* (2020), sendo que os dados foram agrupados em cinco classes com intervalos regulares de 7,0 cm de diâmetro.

A partir dos dados da cubagem, foram calculados os volumes reais das árvores. Após isso, os

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

volumes juntamente com as variáveis D e H foram empregados para o ajuste de dez modelos volumétricos comumente utilizados para a predição de volume de florestas plantadas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Modelos volumétricos a serem ajustados por híbrido de *Eucalyptus* para obtenção do volume (m<sup>3</sup>)

Número	Modelo de Volume	Autor
1	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 H + \varepsilon$	Schumacher e Hall
2	$V = \beta_0 + \beta_1 \ln(D) + \beta_2 \ln(H) + \varepsilon$	Schumacher e Hall modificado
3	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D) + \beta_2 \ln(H) + \varepsilon$	Schumacher e Hall logaritimizado
4	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D^2 H) + \varepsilon$	Spurr não-linearizado
5	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 D^2 H + \beta_3 H + \varepsilon$	Stoate (australiana)
6	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \varepsilon$	Kopezky-Gehrhart
7	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \varepsilon$	Hohenadl e Krenn
8	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D) + \varepsilon$	Husch
9	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 D^2 H + \beta_3 D H^2 + \beta_4 H^2 + \varepsilon$	Naslund
10	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 D H + \beta_4 D^2 H + \beta_5 H + \varepsilon$	Meyer

Em que: ln = logaritmo natural; V = volume; H = altura total; D = diâmetro a 1,30m do solo;  $\beta_i$  = coeficientes a serem estimados.

Para selecionar as melhores equações volumétricas, foram analisados os seguintes critérios: erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro médio absoluto percentual (MAPE) e análise gráfica da dispersão dos resíduos. Todo o processamento foi feito por meio da linguagem de programação R.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 é apresentada a estatística descritiva das variáveis diâmetro a 1,30m do solo (D), altura total (H) e volume (V). A média geral obtida dos volumes das árvores foi de 0,31m<sup>3</sup> com um coeficiente de variação (CV) de 55,48% para os dados treino e 59,91% para os dados teste (Tabela 2). Esta alta variabilidade pode ser atribuída a heterogeneidade do povoamento, sendo constituído por diferentes híbridos. Rego *et al.* (2019), também estudando eucalipto, encontraram CV de 46,67%, valor considerado alto na literatura para as medidas de volume, o que pode influenciar nas estimativas.

**Tabela 2.** Estatística descritiva para analisar a variação da base de dados

Variáveis	Dados Treino					
	Média	Desvio padrão	CV%	Máximo	Mínimo	
Diâmetro a 1,30m do solo (cm)	18,84	4,55	24,13	29	6,1	
Altura total (m)	21,45	3,66	17,05	28,7	11,8	
Volume (m <sup>3</sup> )	0,31	0,1718	55,48	0,801	0,0186	
Variáveis	Dados Teste					
	Média	Desvio padrão	CV%	Máximo	Mínimo	
Diâmetro a 1,30m do solo (cm)	18,45	4,74	25,7	37	4,0	
Altura total (m)	21,05	4,02	19,09	29,7	7,1	
Volume (m <sup>3</sup> )	0,29	0,1747	59,91	1,0562	0,0072	

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

As médias de volumes reais observadas para cada um dos híbridos avaliados estão apresentadas na Tabela 3, variando entre 0,2279 m<sup>3</sup> (híbrido I144) e 0,3965 m<sup>3</sup> (híbrido VM58).

**Tabela 3.** Volume médio por híbridos de *Eucalyptus*

Híbrido	Volume (m <sup>3</sup> )
1241	0,3520
1249	0,3207
1296	0,2507
1355	0,3906
1404	0,2845
I144	0,2279
VM58	0,3965

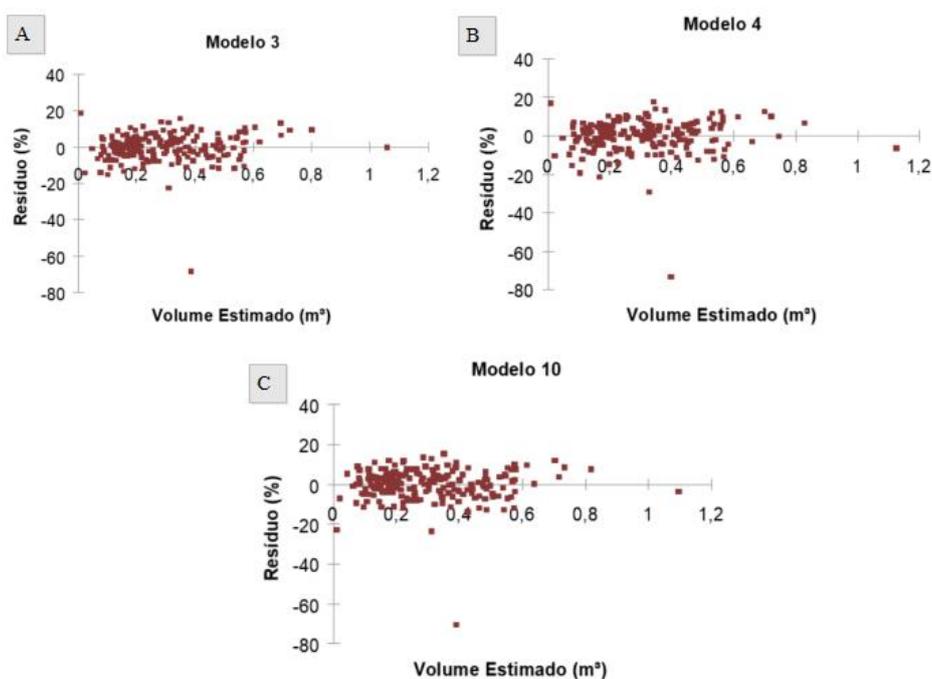
Dentre os dez modelos testados, os modelos de Schumacher e Hall logaritimizado, Spurr não-linearizado e Meyer apresentaram os melhores resultados para as estatísticas de precisão consideradas (Tabela 4).

**Tabela 4.** Coeficientes estimados dos modelos volumétricos e suas estatísticas de ajuste para estimar o volume dos híbridos de eucalipto

Modelo	Coeficientes Estimados						Estatística			
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>xy</sub>	RMSE	MAPE
3	-9,7281	1,6663	1,1581	-	-	-	0,9853	9,1256	0,0263	5,6136
4	-9,4549	0,9140	-	-	-	-	0,9835	9,5468	0,0276	5,9103
10	0,0230	-0,0040	-0,0026	2,15.10 <sup>-5</sup>	2,16.10 <sup>-5</sup>	0,00051	0,9770	9,0880	0,0258	5,5905

Em que: R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>xy</sub> = erro padrão da estimativa; RMSE = raiz quadrada do erro médio; MAPE = erro médio absoluto percentual.

A distribuição gráfica dos resíduos evidenciou distribuição uniforme e bastante similar entre os três modelos selecionados (Figura 2). Assim, a seleção da melhor equação baseou-se apenas na estatística de precisão (Tabela 4), que mostrou maior R<sup>2</sup><sub>aj</sub> e menor S<sub>yx</sub> para o modelo de Schumacher e Hall logaritimizado. Esse resultado está em concordância com os obtidos em outros estudos com espécies e híbridos de eucalipto (Andrade *et al.*, 2018; Rego *et al.*, 2019; Cunha Neto *et al.*, 2021).



**Figura 2.** Distribuição gráfica dos resíduos para os modelos testados. Em que A = Schumacher e Hall logaritimizado; B= Spurr não-linearizado; C = Meyer

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

A aplicação do modelo Schumacher e Hall logaritimizado aos 30% dos dados destinados à validação gerou um volume estimado médio de 0,29497 m<sup>3</sup>, valor que se aproxima dos valores médios de volume real (Tabela 2), confirmando a eficiência desse modelo para estimar volume de híbridos de *Eucalyptus*.

### CONCLUSÃO

O modelo de Schumacher e Hall logaritimizado apresenta melhor desempenho para estimar o volume total de híbridos de *Eucalyptus*.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Biazatti, S. C.; Sccoti, M. S. V.; Brito Júnior, J. F.; Mõra, Rocha, K. J. Modelos tradicionais para estimativa do volume em área de concessão na Flona do Jamari–RO. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 9, n. 2, p.19-27, 2020. <https://doi.org/10.47209/2317-5729.v.9.n.2.p.19-27>.
- Cunha Neto, E. M.; Moura, M. M.; Araujo, E. C. G.; Santana, G. M.; Dalla Corte, A. P.; Sanquetta, C. R. Aprendizado de máquina e regressão linear na estimativa do volume de *Eucalyptus* na Amazônia Oriental. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 6, n. 1, p. 8-14, 2021. <https://doi.org/10.5380/biofix.v6i1.75092>.
- Dai, P. V. S.; Rojo Baio, F. H.; Azevedo, G. B.; Fagundes, L. A.; Trento, A. C. S. Estimativa de volume de madeira baseada em índices de vegetação. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129, p. 1-12, 2021. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n129.06>.
- Carvalho S. T. T.; Andrade, D. L.; Coelho, M. C. B.; Erpen, M. L.; Pereira, J. F.; Silva, M. V. C.; Limeira, M. M. C.; Varavallo, M. A. Equações volumétricas para *Eucalyptus* sp no cerrado tocantinense. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, n. 3, p. 252-260, 2021. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v9n3.santana>
- Andrade, V. C. L.; Terra, D. L. C. V.; Santos, A. C. A.; Leite, H. G. Modelos para volume comercial do fuste com e sem casca de eucalipto citriodora. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 2, p.106-116, 2018. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/21060>. Acesso em: 15 Jun. 2023.
- Ferreira, V. P.; Batista, J. L. F. Utilização de variáveis qualitativas de localização em equações volumétricas e a seleção de modelos. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 4, p.1968-1990, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509840926>.
- Kohler, S. V.; Koehler, H. S.; Figueiredo Filho, A. Modelos de afilamento para *Pinus taeda* por classes de idade. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p.470-479, 2013. <https://doi.org/10.4322/floram.2013.039>.
- Leal, F. A.; Leal, G. S. A.; Silva, T. C. Redes neurais artificiais e modelos alométricos aplicados para estimativa de volume e altura em *Eucalyptus urophylla* ST Blacke. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p.1181-1188, 2020. <https://doi.org/10.34062/afs.v7i3.10720>.
- Miguel, E. P.; Péllico Netto, S.; Azevedo, G. B.; Azevedo, G. T. O. S.; Rezende, A. V.; Pereira, R. S. Alternative methods of scaling *Eucalyptus urophylla* trees in forest stands: Compatibility and accuracy of volume equations. **iForest**, v. 11, n. 2, p.275-283, 2018. <https://doi.org/10.3832/ifer2155-011>
- Rego, A. M.; Silva, M. D. M.; Lopes Sobrinho, O. P.; Ferreira, J. C. S. Modelos de equações volumétricas para um povoamento de eucalipto situado em Codó (MA). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.4, p.1-8, 2019. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0001>.
- Smethurst, P. J.; Valadares, R. V.; Huth, N. I.; Almeida, A. C.; Elli, E. F.; Neves, J. C. L. Generalized model for plantation production of *Eucalyptus grandis* and hybrids for genotype-site-management applications. **Forest Ecology and Management**, v.469, e118164, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118164>.