# QUOCIENTES DE FORMA PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DE HÍBRIDOS DE EUCALIPTO

Isadora Ferraz Chagas[1]; Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia[2]; Fabiano Rodrigues Pereira[3]; Thaís Chaves Almeida[4]; Robson Borges de Lima[5]; Paulo Henrique Marques Monroe[6]

[1,2,5,6]Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, Bahia. isadora.florestal@gmail.com; patriciabarreto@uesb.edu.br; rbl.florestal@yahoo.com.br; paulomonroes@gmail.com
[3,4] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. fabiano.engflo@gmail.com; florestal.thais@gmail.com

## RESUMO

As florestas plantadas com espécies do gênero *Eucalyptus* reúnem materiais genéticos com diferentes padrões de crescimento, demandando métodos precisos e operacionais para estimar o volume individual das árvores. Embora de aplicação simples, o quociente de forma é apontado como um dos métodos menos precisos para essa finalidade. Este estudo teve como objetivo identificar quocientes de forma adequados a diferentes materiais genéticos de eucalipto e avaliar seu desempenho na estimativa volumétrica. Foram cubadas 100 árvores de três híbridos clonais (1296, 1355, 1404) e de *Eucalyptus urophylla* seminal, pelo método de Smalian e os dados foram divididos em treinamento (70%) e teste (30%). Os quocientes foram calculados pela razão entre os diâmetros medidos em diferentes posições relativas do fuste ($d_i$) e o diâmetro a 1,3 m do solo (D). A seleção foi baseada no RMSE, Bias e MAPE, utilizando o volume da cubagem como referência. As melhores estimativas foram obtidas com $D/d_{5\%}$ ($k_{0,05}$), para os clones 1296 e 1355 e *E. urophylla*, e com $D/d_{10\%}$ ($k_{0,10}$), para o clone 1404. No treinamento, o RMSE variou de 0,0012 a 0,0146 m³ e o MAPE de 0,21% a 1,92%; no teste, de 0,0009 a 0,0194 m³ e de 0,16% a 2,65%, respectivamente, indicando manutenção do desempenho em árvores independentes. Os resultados demonstram potencial dos quocientes $k_{0,05}$ e $k_{0,10}$ para estimar o volume dos materiais genéticos avaliados, contudo requer validações adicionais antes de sua recomendação.

**Palavras-chave**: Cubagem rigorosa; Estimativa volumétrica; Mensuração florestal.

## 1. INTRODUÇÃO

As florestas plantadas do gênero *Eucalyptus* no Brasil apresentam ampla diversidade de materiais genéticos, normalmente selecionados em função de características relacionadas ao crescimento, produtividade e adaptação às condições

ambientais (GÁNDARA et al., 2025). Devido ao seu alto potencial produtivo, o gênero desempenha papel central na silvicultura mundial e brasileira (DIAS et al., 2026).

A avaliação da produção florestal é essencial para o planejamento e a tomada de decisões no manejo de povoamentos florestais. Essa produção é tradicionalmente quantificada por meio de estimativas do volume de madeira, uma das principais variáveis da mensuração florestal. Entre os métodos utilizados na estimativa de volume de madeira, destacam-se os quocientes de forma, obtidos a partir da razão entre dois diâmetros da árvore (GOMES, 2022), possibilitando estimativas mais rápidas e práticas do volume arbóreo, sem a necessidade de cubagem rigorosa das árvores.

Embora apresentem simplicidade operacional, são frequentemente apontados como um dos métodos menos precisos para a estimativa do volume de árvores (AZEVEDO et al., 2011; CIARNOSCHI, 2016). Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo identificar quocientes de forma mais adequados para estimativa de volume de diferentes materiais genéticos de eucalipto.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados foram obtidos em um plantio comercial de *Eucalyptus* com sete anos de idade, localizado na Fazenda Baixão, no distrito Pradoso, município de Vitória da Conquista, Bahia. O plantio era composto por quatro materiais genéticos distintos, sendo três híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* (CO 1296, CO 1404 e CO 1355) e um material seminal, estabelecidos em espaçamentos 3 x 4 m e distribuídos em renques de três fileiras, intercaladas de forma aleatória.

Foram cubadas 100 árvores, adotando-se o método de Smalian. Em todas as árvores, foram medidos o diâmetro a 1,30 m do solo (D), a altura total (H) e os diâmetros das seguintes posições relativas da altura total: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 e 95% ($d_i$).

O banco de dados foi dividido aleatoriamente em dois conjuntos independentes: 70% das observações para treinamento e 30% para teste. Utilizando os dados de treinamento, os quocientes foram calculados pela razão entre o menor e o maior diâmetro de cada par de medidas (D e $d_i$), resultando em valores entre 0 e 1.

A seleção dos melhores quocientes foi realizada separadamente para cada material genético, em duas etapas. Primeiramente, foram considerados os seguintes

critérios estatísticos de raiz do erro quadrático médio (RMSE), viés percentual (Bias) e o erro percentual absoluto médio (MAPE). Em seguida, as estimativas de volumes obtidas com os melhores quocientes foram comparadas aos volumes obtidos pela cubagem rigorosa, por meio do teste de Dunnett. Os volumes das árvores de teste foram estimados pela multiplicação do volume do cilindro pelo quociente de forma médio selecionado para cada material genético.

Todas as estimativas volumétricas, o cálculo das estatísticas de precisão e a elaboração dos gráficos foram realizados no ambiente R, utilizando o *software* RStudio, desenvolvido pela Posit Software, PBC.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No conjunto de treinamento, os menores erros foram obtidos para os quocientes $D/d_{5\%}$ ($k_{0,05}$) nos materiais 1296, 1355 e *E. urophylla* e $D/d_{10\%}$ ($k_{0,10}$) no clone 1404, com RMSE entre 0,0012 e 0,0146 m³ e MAPE entre 0,21% e 1,92% (TABELA 1). O Bias permaneceu próximo de zero, indicando pequena tendência à subestimativa, exceto para o 1404, que apresentou leve superestimativa.

**TABELA 1 -** Desempenho estatístico dos quocientes de forma selecionados por material genético.

| Material Genético | P | k | DADOS TREINO | | | DADOS TESTE | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | RMSE | BIAS | MAPE | RMSE | BIAS | MAPE |
| 1296 | 5 | 0,956 | 0,0053 | -0,0047 | 0,6190 | 0,0070 | -0,0068 | 0,754 |
| 1355 | 5 | 0,945 | 0,0146 | -0,0124 | 1,9200 | 0,0194 | -0,0175 | 2,65 |
| 1404 | 10 | 0,965 | 0,0012 | 0,00044 | 0,2070 | 0,00093 | 0,00034 | 0,160 |
| *E. urophylla* | 5 | 0,952 | 0,0065 | -0,0043 | 1,2900 | 0,0062 | -0,0057 | 1,40 |

P – posição relativa no fuste (% da altura total) correspondente ao diâmetro utilizado no numerador do quociente de forma; k – quociente de forma obtido pela razão entre o diâmetro do fuste na posição P e o diâmetro a 1,30 m do solo; RMSE – raiz do erro quadrático médio; MAPE – erro percentual absoluto médio.

Os quocientes de forma médios pouco variaram entre os materiais genéticos, de 0,945 (1355) a 0,965 (1404) (TABELA 1), possivelmente devido à similaridade na forma dos fustes, considerando a presença de *Eucalyptus urophylla* em todos os materiais. Além disso, os diâmetros utilizados em $k_{0,05}$ e $k_{0,10}$ foram medidos próximas à base do fuste, região menos sujeita ao afilamento (CAMPOS & LEITE, 2017).

No conjunto de teste, os valores de RMSE variaram de 0,0009 a 0,0194 m³ e os de MAPE, de 0,16% a 2,65%, mantendo-se próximos aos observados no treinamento. O viés das estimativas apresentou padrão semelhante, com Bias negativo para 1296, 1355 e *E. urophylla* e positivo para o clone 1404.

Embora seja comum a ocorrência de superestimação do volume a partir do uso de quocientes de forma, como observado por Azevedo et al. (2011) ao utilizarem o quociente de forma de Schiffel, no presente estudo os volumes estimados pelos melhores quocientes de forma não diferiram estatisticamente daqueles obtidos pela cubagem rigorosa para nenhum dos materiais genéticos avaliados (TABELA 2).

**TABELA 2** - Volumes médios ($m^3$ árvore$^{-1}$) obtidos pela cubagem rigorosa e estimados pelo melhor quociente de forma para diferentes materiais genéticos de eucalipto.

| Volume | MATERIAL GENÉTICO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1296 | 1355 | 1404 | *E. urophylla* |
| V (CR) | 0,729 a | 0,6648 a | 0,6648 a | 0,4540 a |
| V(k) | 0,7245 a | 0,6524 a | 0,6461 a | 0,4497 a |

V(CR) = volume médio obtido pela cubagem rigorosa; V(k) = volume médio estimado com base no melhor quociente de forma para cada híbrido: 1296, k obtido pela razão $D/d_{5\%}$; 1355, k obtido pela razão $D/d_{5\%}$; 1404, k obtido pela razão $D/d_{10\%}$; e *Eucalyptus urophylla*, k obtido pela razão $D/d_{5\%}$. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Dunnett a 5% de significância.

Na comparação treinamento e teste, houve manutenção de baixos valores de erro (FIGURA1), o que indica que os quocientes selecionados no treinamento também apresentaram bom desempenho quando aplicados a árvores independentes, demonstrando estabilidade das estimativas de volume (MONTGOMERY et al., 2012).

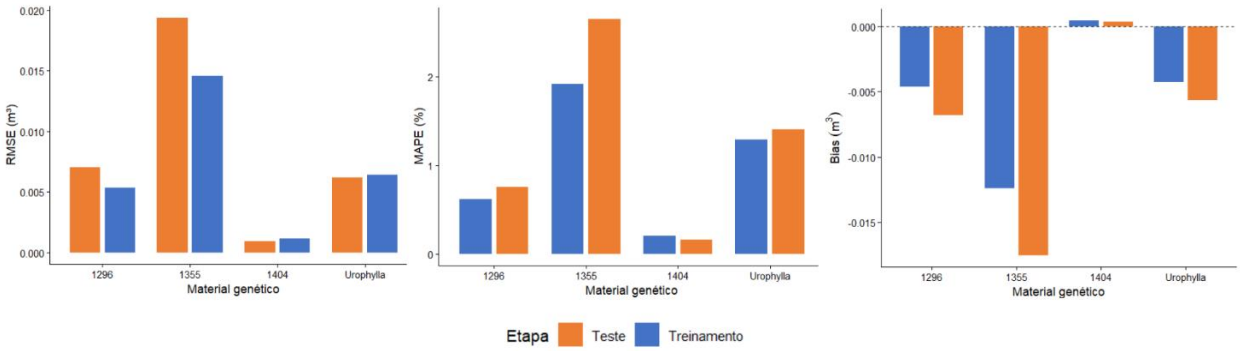



**FIGURA 1 -** Comparação da precisão das estimativas de volume obtidas com os quocientes de forma selecionados nos conjuntos de treinamento e teste.

A ausência de diferenças significativas entre os volumes estimados e aqueles obtidos pela cubagem rigorosa, associada à manutenção de baixos erros no conjunto de teste, indica desempenho consistente dos quocientes selecionados. Entretanto, validações adicionais com dados independentes são recomendáveis antes de sua utilização para estimativas volumétricas em condições distintas daquelas avaliadas neste estudo.

## 4. CONCLUSÃO

Os quocientes de forma correspondentes às razões $D/d_{5\%}$ ($k_{0,05}$) e $D/d_{10\%}$ ($k_{0,10}$) apresentaram melhor desempenho para estimativa do volume das árvores dos materiais genéticos estudados, sendo $k_{0,05}$ selecionado para os clones 1296 e 1355 e *Eucalyptus urophylla* e $k_{0,10}$ para o clone 1404.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


AZEVEDO, G. B. de; SOUSA, G. T. de O.; BARRETO, P. A. B.; CONCEIÇÃO JÚNIOR, V. Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 31, n. 68, p. 309-318, 2011.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Forma e volume da árvore. In: CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas. 5. ed.** Viçosa: Editora UFV, 2017. cap. 3, p. 57-65.

CIARNOSCHI, L. D. **Modelos de afilamento do tronco de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, no Oeste do Estado de Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2016. 155 f.

DIAS, M. A. N.; LIMA, P. S. R.; SÁ, R. A. de; OLIVEIRA, T. B. de; PAULA, T. do N. A. de; LIMA JÚNIOR, H. de S.; MELO, F. C. S.; ALBERNAZ, M. R. A. Mitigação climática por silvicultura no Brasil: carbono, restauração e florestas plantadas para ODS 13 e 15. **REMUNOM**. v. 2, n. 1, 2026.

GÁNDARA, J.; NIÓN, M.; GONZÁLEZ-TÁLICE, J.; ROSS, S.; VILLAR, J.; FERNÁNDEZ, M. E. Similar but unique: physiological response to drought and growth of pure species and interspecific hybrid clones of *Eucalyptus*. **Trees**. v. 39, art. 36, 2025.

GOMES, S. H. M. **Análise do efeito do espaçamento e material genético na forma do tronco de árvores de *Eucalyptus* spp. sob o prisma da modelagem**. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2022. 151 f.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis. 5. ed.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.

POSIT TEAM. RStudio: integrated development environment for R. Versão 2026.01.2+418. Boston: **Posit Software**, PBC, 2026.

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2026.


## 6. AGRADECIMENTOS


À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela concessão da bolsa de mestrado. Ao grupo de pesquisa Forest Soils pelas contribuições para o desenvolvimento desta pesquisa.