



27 a 29 de agosto | Maceió, AL



EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS PARA UM PLANTIO EXPERIMENTAL DE EUCALIPTO EM BOM JESUS, PIAUÍ

Mateus Sirqueira Nogueira¹, Karolayne Martins Santos¹, Jean Miranda Silva Santos, Rony Ventura, Eden da Silva Bezerra, Roniel Soares da Costa Silva, Rick Cavalcante, Aimeé Jordânia de Aquino Rocha, Antonio Carlos Ferraz Filho¹ Andressa Ribeiro^{1*}

Universidade Federal do Piauí, Curso de Engenharia Florestal, *Campus* Bom Jesus

*andressa.florestal@ufpi.edu.br.

RESUMO

A estimativa do volume de madeira é fundamental para o controle de estoque, monitoramento do crescimento, planejamento da produção, elaboração de planos de manejo, comercialização e transporte de produtos florestais. Para assegurar uma logística eficiente nas operações do setor e atender às necessidades da indústria madeireira, é crucial que as estimativas volumétricas sejam precisas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar modelos volumétricos e calcular um fator de forma para estimativa do volume total em um plantio experimental com quatro clones de eucalipto em Bom Jesus, PI. O volume individual de 40 árvores foi determinado por cubagem não destrutiva, utilizando o Criterion RD1000 digital para medir as seções ao longo do fuste, empregando o método de Smalian. Os critérios de seleção para a escolha do melhor modelo volumétrico foram o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o erro padrão da estimativa (S_{yx}) e a distribuição dos resíduos. O modelo de Schumacher-Hall se destacou por não apresentar tendenciosidade na estimativa do volume total, com R^2_{aj} de 88,7% e S_{yx} de 15,7%. O valor do fator de forma encontrado foi de 0,65. O uso de equações de volume e fatores de forma permitem uma quantificação precisa do estoque de madeira e a determinação do potencial produtivo da área, auxiliando empresários na previsão de lucros futuros e na tomada de decisões sobre investimentos.

Palavras-chave inventário florestal; silvicultura; plantações florestais; estoque de madeira.

INTRODUÇÃO

A área de plantações florestais no Piauí é de aproximadamente 32.321 hectares (IBÁ, 2024), valor incipiente quando comparado aos 10.228.830 ha de plantações brasileiras. Assim, é necessário expandir os plantios comerciais de espécies florestais de rápido crescimento na região, uma vez que atualmente esses plantios são limitados, e a produção de carvão vegetal depende principalmente da utilização de madeira proveniente de florestas nativas.

O eucalipto é a espécie florestal mais difundida no Brasil, possui grande relevância para os plantios florestais comerciais voltados para a produção de papel, celulose, madeira e carvão, devido ao seu rápido crescimento e à sua alta adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. Explorar a compreensão dos padrões de crescimento e desempenho de clones diversos torna-se imperativo para otimizar a produtividade, assegurando o desenvolvimento sustentável das plantações. Para garantir uma eficiência logística adequada nas atividades do setor e atender à demanda da indústria madeireira, é essencial que as estimativas volumétricas sejam precisas.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar seis modelos volumétricos para estimar o volume total em um plantio experimental com quatro clones de eucalipto implantados na cidade de Bom Jesus, Piauí, além do cálculo do fator de forma médio a fim de estimar volume de madeira presente.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma plantação experimental no *Campus* Professora Cinobelina Elvas, localizado na cidade de Bom Jesus, no estado do Piauí. A região, segundo a classificação climática de Köppen, é caracterizada como de clima Aw, apresentando condições quentes e úmidas. A precipitação média anual atinge 1033 mm, distribuindo-se predominantemente entre os meses de outubro a abril. Quanto às temperaturas, a média mensal mínima oscila em torno de 23,2 °C, enquanto a máxima atinge 26,4 °C, conforme dados de (ALVARES et al., 2013). O solo predominante na área do plantio é classificado como Neossolo Quartzarênico, caracterizado por uma textura excessivamente arenosa, sua principal limitação reside na baixa retenção de cátions e na capacidade reduzida de armazenamento de água (EMBRAPA, 2020).

O plantio foi realizado adotando espaçamento de 4 m x 4 m em março de 2022 (Figura 1). Os clones avaliados neste estudo foram: KL 103 (*E. urophylla* x *E. tereticornis* x *E. pellita*); recomendado para plantio em

regiões semiáridas, apresenta alta resistência ao déficit hídrico e boa capacidade de regeneração por brotação; KL 105 (*E. urophylla* x *E. resinifera*): indicado para plantio em áreas subúmidas secas, destacando-se por sua resistência ao déficit hídrico; KL 104 (*E. tereticornis* x *E. urophylla*): adequado para cultivo em regiões semiáridas, possui elevada resistência ao déficit hídrico e boa capacidade de regeneração por brotação e AR 01 (*E. urophylla* x *E. urophylla*): recomendado para plantio em regiões semiáridas, é altamente resistente ao déficit hídrico e apresenta alta densidade da madeira.

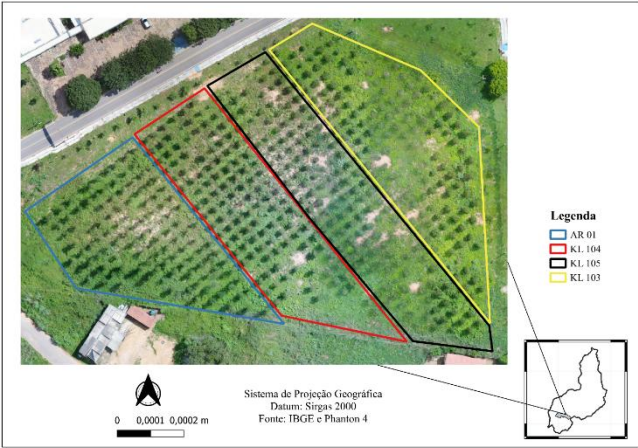


Figura 1. Localização do plantio experimental de eucalipto implantado no *Campus* Bom Jesus da Universidade Federal do Piauí.

Para a coleta de dados, foram selecionadas 10 árvores de cada clone, com idade de 2,3 anos, foram selecionadas de forma aleatória nas diferentes classes diamétricas do plantio. O volume individual foi determinado a partir da cubagem não destrutiva, empregando o equipamento Criterion RD1000 Digital, que permite a mensuração da altura (*hi*) e do diâmetro (*di*) da árvore em diferentes posições do fuste. Dados de *hi* e *di* foram coletados em seções distanciadas a cada um metro ao longo do fuste. O cálculo do volume observado foi realizado empregando a metodologia de Smalian e o cálculo do fator de forma foi realizado pela razão entre o volume observado pelo volume do cilindro.

Diferentes modelos volumétricos foram ajustados para a estimativa do volume (Tabela 1). O critério de seleção para a escolha do melhor modelo volumétrico foi o coeficiente de determinação ajustado (*R*²_{aj}) e o erro padrão da estimativa (*Sy*_x), ambos em porcentagem. Adicionalmente, para cada modelo ajustado, foi realizada uma análise gráfica dos resíduos com o objetivo de verificar a existência de possíveis tendências nas estimativas. O ajuste dos modelos foi realizado com auxílio no software R empregando as funções *lm* e *nls* (R Core Team, 2024).

Tabela 1. Modelos matemáticos avaliados para a estimativa do volume um plantio experimental de eucalipto em Bom Jesus, PI.

Modelo	Estrutura matemática	Autor
1	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 H + \varepsilon$	Spurr
2	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D) + \beta_2 \ln(H) + \varepsilon$	Schumacher e Hall linearizado
3	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \varepsilon$	Hohenald e Krenn
4	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D^2 H) + \varepsilon$	Spurr linearizado
5	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 D^2 H + \beta_3 D H^2 + \beta_4 H + \varepsilon$	Naslund
6	$V = \beta_0 + D^{\beta_1} + H^{\beta_2} + \varepsilon$	Schumacher e Hall

em que: V = volume (m³); D= diâmetro a 1,3 m de altura do solo (cm); H = altura total (m); βi= parâmetros da regressão e ln = logaritmo neperiano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O melhor modelo para a estimativa do volume total foi o modelo 6 de Schumarcher e Hall (*V*) = - 0,036252529 + 0,007072361*(DAP) + 0,001265219*(H). O modelo apresentou um *R*² ajustado de 88,7% e um erro padrão da estimativa (*Sy*_x) de 15,3%. Os resultados da regressão para o ajuste das equações de volume total com casca, em função do diâmetro e da altura, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos das equações ajustadas para estimativa do volume em um plantio experimental de eucalipto em Bom Jesus, PI.

Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R^2_{aj} (%)	Syx (%)
1	1,17E-02***	3,10E-05***	-	-	-	83,3	18,6
2	-8,1686913***	1,6833653***	0,5225495**	-	-	86,6	16,6
3	-0,024029973 ^{ns}	0,005965172 ^{ns}	0,000125435 ^{ns}	-	-	87,8	15,9
4	-8,2609312***	0,7450097***	-	-	-	85,6	17,3
5	-1,25E-02*	5,80E-04*	-6,19E-07 ^{ns}	-2,77E-05 ^{ns}	3,05E-04 ^{ns}	89,0	15,1
6	-0,036252529***	0,007072361***	0,001265219*	-	-	88,7	15,3

em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; β_i = coeficientes das equações volumétricas. Significativo a 1%*, 5%** e 10%*** e ^{ns} = não significativo à 95% de probabilidade de acerto.

Os ajustes realizados apresentaram bons resultados, com o coeficiente de determinação variando entre 83% e 89% e o erro padrão da estimativa variando entre 15% e 19%. No entanto, alguns modelos, como o de Hohenald & Krenn e Naslund, mesmo apresentando boas estatísticas de ajuste, não tiveram os coeficientes da equação significativos. Ribeiro et al. (2014) observaram que, para algumas espécies como maçaranduba (*Manilkara* spp.), jarana (*Lecythis pisonis*) e jatobá (*Hymenaea* spp.), os modelos de Schumacher-Hall (SH) e Spurr (SP) proporcionaram o melhor ajuste aos dados observados de volume, os coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) variaram entre 93,48% e 94,10%, enquanto o erro padrão da estimativa variou entre 17,06% e 17,12%. Monteiro (2009) e Rolim et al. (2006) também identificaram o modelo de Schumacher-Hall como o mais eficaz para estimativas volumétricas em seus estudos.

Um valor médio de 0,65 foi calculado como fator de forma, quando realizado para cada clone foi possível observar que este diminui à medida que o diâmetro aumentou, refletindo a mudança na forma das árvores conforme seu crescimento. Para os quatro clones foi possível que cada clone possui um fator de forma diferente (Figura 2). O menor fator observado foi o do AR01 ($ff=0,50$) um clone com alta densidade da madeira. Valores encontrados por Cipriani (2015) que estão na faixa esperada para eucaliptos (0,40-0,60) indicando que pode proporcionar boa estimativa de volume para eucaliptos da região. Sanquetta et al. (2016) observaram que os fatores de forma médios por classe variaram de 0,54 a 0,69, indicando uma tendência de redução do fator de forma nas classes diamétricas maiores. Isso mostra que as árvores de menor diâmetro possuem menos conicidade em comparação às árvores de maior diâmetro.

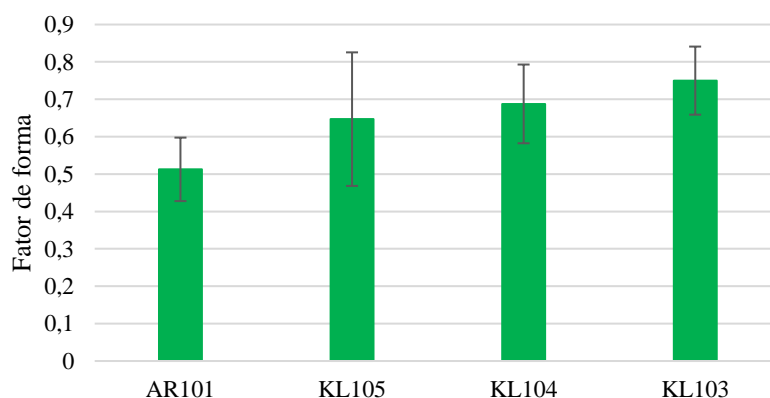


Figura 2. Valores médios do fator de forma (ff) para volume total calculados com dados de 40 árvores. Barras representam os valores de desvio padrão.

CONCLUSÕES

Um fator de forma médio de 0,65 foi calculado para o cálculo de volume em árvores de eucalipto com 2,3 anos de idade. O modelo matemático de Schumacher e Hall obteve os melhores resultados, sendo recomendado para estimativa do volume dos clones de eucalipto do estudo.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; GODINHO, V. P. C. Fatores de forma para eucaliptos em Vilhena, RO. (Circular Técnica), 143. Porto Velho: **Embrapa Rondônia**, 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 2ª edição. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. 2020.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório anual. 2024. Disponível em:< <https://iba.org/relatorio2024.pdf>> Acesso em: 13/05/2024

MONTEIRO, L. A. S. **Equações de volume geral e para dez espécies dominantes em uma floresta primária no sudeste do Pará**. 2009. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2009.

R CORE TEAM. The R Project for Statistical Computing. 2024. Disponível em <https://www.r-project.org/>. Acesso em 22 maio. 2025.

RIBEIRO; R. B. S; GAMA; J. R. V; MELO; L. O. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Cerne**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 605-612, dez. 2014.

ROLIM; S. G. et al. Modelos volumétricos para a floresta nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás, PA. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 107-114, 2006.

SANQUETTA; C. R. et al. ESTIMAÇÃO DE VOLUMES DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze POR FATORES DE FORMA EM CLASSES DIAMÉTRICAS E MODELOS DE REGRESSÃO. **Enciclopédia Biosfera**, [S.L.], v. 13, n. 23, p. 588-597, 22 jun. 2016.