

Ajuste de equações volumétricas para *Calophyllum brasiliense* Cambess em floresta plantada em Igarassu, PE

Wesley Costa Ferreira¹; Rodrigo Eiji Hakamada²; Rute Berger³; Maria Clara Bezerra Lima⁴; Lorena Paulina dos Santos⁵; Jonatas Carlos da Silva⁶; Igor Gomes Marçal⁷; Maria Beatriz Ferreira⁸

¹Engenheiro Florestal, Mestrando em Ciências Florestais na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos – Recife-PE. E-mail: costawesley95@gmail.com

²Engenheiro Florestal, Dr., Professor na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos – Recife-PE. E-mail: rodrigo.hakamada@ufrpe.br

³Engenheira Florestal, Dra., Professor na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos – Recife-PE. E-mail: rute.berger@ufrpe.br

⁴Engenheira Florestal, Mestranda em Ciências Florestais na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos – Recife-PE. E-mail: bioengmclara@yahoo.com

⁵Graduanda em Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos – Recife-PE. E-mail: Lorenaspaulina@gmail.com

⁶Graduando em Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos – Recife-PE. E-mail: Jonatascarlos00@gmail.com

⁷Graduando em Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos – Recife-PE. E-mail: igorgmarcal@gmail.com

⁸Engenheira Florestal, Doutoranda em Ciências Florestais na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos – Recife-PE. E-mail: beatriz.177@outlook.com

Resumo

Objetivou-se neste estudo, ajustar equações volumétricas para *Calophyllum brasiliense* Cambess em floresta plantada em Igarassu, Pernambuco. Para o ajuste das equações foi obtido o volume real das árvores através da cubagem rigorosa de 53 árvores, empregando o método de Smalian. Foram testados 6 modelos volumétricos, os critérios de escolha do melhor modelo foram: o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}); o erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx\%}$) e na análise gráfica dos resíduos. O modelo de Schumacher-Hall foi o que apresentou o melhor ajuste entre as equações testadas, com $R^2_{aj} = 88,59\%$ e $S_{yx} = 9,74\%$, além de boa distribuição dos resíduos podendo ser usada para a estimativa do volume individual para o povoamento de Guanandi.

Palavras-chave: Volume individual, Análise de Regressão, Floresta Plantada.

Introdução

O setor florestal brasileiro apresentou em 2020 uma área total de 9,55 milhões de hectares de florestas plantadas (IBÁ, 2021). No Nordeste brasileiro, a necessidade de madeira para suprir as demandas dos polos moveleiros que estão concentrados nos estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Pernambuco, só aumentam. Espécies nativas com potencial para produção de madeira usadas para movelaria, se mostram como alternativa atraente para a produção florestal (PIOTTO et al., 2003).

A *Calophyllum brasiliense* Cambess é uma espécie de ampla distribuição tropical, plantada comercialmente em diversos países da América latina, com bons resultados de crescimento (SILVA et al., 2010). Segundo Piotto (2005), o Guanandi tem uma madeira que apresenta ótimas características físicas e mecânicas, fácil de secar, e é utilizada para fabricação de móveis finos, pisos e carpintaria em geral. Ainda segundo o mesmo autor, a espécie apresenta excelentes características silviculturais uma vez que tem uma boa forma, com fuste reto e ausência de bifurcações, além de ser pouco atingida por pragas.

No Brasil o Guanandi foi pesquisado pela EMBRAPA e é classificado como espécie arbórea promissora para plantios em regiões de clima tropical, como na região do Nordeste brasileiro (CARVALHO, 2003). Desta forma, implementar plantios de qualquer espécie florestal, exige o conhecimento do estoque de madeira e a estrutura da floresta. O volume é a variável mais utilizada para esse diagnóstico do potencial madeireiro de uma floresta, sendo sua estimativa a principal finalidade dos levantamentos florestais, essencialmente quando se trata de povoamentos para fins comerciais (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Sabendo das características madeireiras do Guanandi e do potencial deste para a região do Nordeste brasileiro, este artigo visa ajustar equações de volume para *Calophyllum brasiliense* Cambess (Guanandi) em floresta plantada no município de Igarassu, Pernambuco.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido em um plantio de 2,49 hectares da espécie *Calophyllum brasiliense* Cambess (Guanandi) implantado em maio de 2012, localizado no município de Igarassu, no estado de Pernambuco, situado nas coordenadas geográficas 7° 53'18" de latitude sul e 34° 59' 26" de longitude oeste. Essa região apresenta clima tropical quente e úmido (As' de Köppen), com precipitação média anual de 1.634,2 mm e temperatura média anual de 24,9 °C, com o período chuvoso que compreende os meses de fevereiro a outubro (CPRM, 2005).

Coleta de dados

Para a realização dos ajustes das equações volumétricas foram cubadas 53 árvores através do método destrutivo. A seleção das árvores amostras, baseou-se no critério da distribuição diâétrica por frequência de classes, considerando classes de 2 cm de amplitude, para isso, foi utilizado o inventário mais atual da área de estudo.

Na cubagem rigorosa das árvores foi através do procedimento de Smalian. Nesse procedimento as árvores eram derrubadas e medidas sua altura real com auxílio de uma trena e posteriormente media-se as circunferências do fuste nas alturas: 0=base, 0,30; 0,50; 0,70; 1,00; 1,30 m, após, a cada 1,0 metro até a ponta da árvore. O volume real de cada árvore foi obtido através da seguinte equação:

$$V_T = \sum v_i + v_p$$

Em que: V_T = Volume total por árvore (m³); g = área transversal calculada (m²) a partir da fórmula:

$g = \frac{\pi d^2}{40.000}$, sendo d o diâmetro da seção; v_i = volume da seção (m³), dado pela equação:

$v_i = \left(\frac{g_i + g_{i+1}}{2} \right) l$; v_p = volume da ponta (m³), dado a partir da equação: $v_p = \frac{g_n l_p}{3}$; g_i = área transversal no início da seção (m²); g_{i+1} = área transversal no fim da seção (m²); g_n = área transversal na base da ponta (m²); l_p = comprimento da ponta (m); l = comprimento da seção (m).

Equações de volume para o ajuste

Após obter os dados referentes ao volume real, foi feito o ajuste das equações por meio da análise de regressão. Para isso, foi usado como variáveis o volume individual (variável independente), o Diâmetro a Altura do Peito (DAP) e a altura total (H) das árvores (variáveis independentes).

Os modelos de regressão testados para estimativa do volume total para a *Calophyllum brasiliense* Cambess são apresentados na tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Equações de regressão para estimativa do volume individual para a *Calophyllum brasiliense* Cambess em plantio homogêneo em Igarassu, Pernambuco.

EQUAÇÃO	MODELO	AUTOR
1	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \beta_3 \cdot (DAP \cdot H) + \beta_4 \cdot (DAP^2 \cdot H)$	Meyer
2	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \beta_2 \cdot \ln(H) + \varepsilon$	Schumacher-Hall
3	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot (DAP^2 \cdot H) + \varepsilon$	Spurr
4	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot (DAP^2 \cdot H) + \beta_3 \cdot H + \varepsilon$	Stoate
5	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Hohenadl-Krenn
6	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot (DAP^2 \cdot H) + \beta_2 \cdot (DAP \cdot H^2) + \beta_3 \cdot H^2 + \varepsilon$	Näslund

Em que: V = Volume (m³); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = Coeficientes dos modelos; H = Altura total (m); DAP = Diâmetro à Altura do Peito (cm); \ln = Logaritmo neperiano; ε = Erro de estimativa.

A seleção do modelo de melhor ajuste foi baseada no coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2); no erro padrão da estimativa relativo ($S_{xy\%}$) e na análise gráfica dos resíduos para verificar tendência nas estimativas do volume. Verificou-se a significância dos modelos pelo cálculo do valor de F e a significância dos parâmetros conforme a estatística (t de Student) considerando um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). A descrição dessas estatísticas pode ser encontrada em Cerqueira et al. (2017). Tanto para a obtenção dos critérios estatísticos como os ajuste dos modelos foram realizados no Microsoft office Excel 2016.

Resultados e Discussão

Na tabela 1, são apresentados os resultados dos ajustes para as equações testadas. Observa-se que o R^2_{aj} variou de cerca de 76 a 89%, e o S_{yx} oscilaram cerca de 9 a 12%, indicando um bom nível de precisão nas estimativas do volume. Silva et al. (2018), estudando a mesma espécie do presente estudo aos 94 meses no município de Dueré, no estado do Tocantins, encontraram o R^2_{aj} variando entre 0,92 a 0,98 e o $S_{yx}\%$ entre 2,24 a 14,45%, resultados superiores aos dessa pesquisa.

O modelo que apresentou os piores resultados foi o 5, com menor coeficiente de determinação ajustado e maior erro padrão. Esse é o único modelo baseado apenas na variável independente DAP, indicando uma maior correlação para as variáveis DAP e altura quando combinadas.

Tabela 2 – Parâmetros das equações testadas para estimar o volume individual do Guanandi em floresta plantada em Igarassu, Pernambuco.

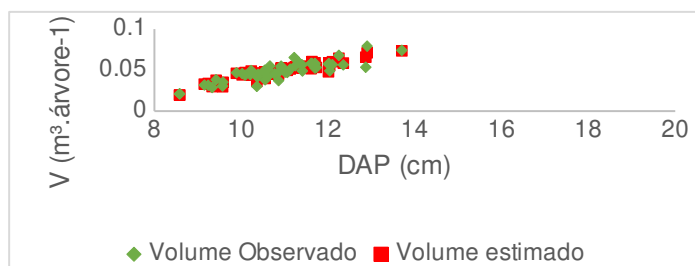
Modelos	Coeficientes					R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4			
(1)	-0,053011ns	0,003938ns	0,000107ns	0,000812ns	-0,000032ns	0,8539	9,29	0,0*
(2)	-9,584021*	1,697182*	1,121157*			0,8859	9,74	0,0*
(3)	0,006581*	0,000038*				0,8385	9,77	0,0*
(4)	-0,081729*	0,007774*	-0,000003ns	0,005317*		0,8566	9,21	0,0*
(5)	-0,138675*	0,024875*	-0,000700ns			0,7628	11,84	0,0*
(6)	-0,012501ns	0,000065*	-0,000075ns	0,000687ns		0,8434	9,62	0,0*

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa relativo em m^3 ; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = Coeficientes dos modelos; F = Valor de f de significação; * Indica que o modelo é significativo a um nível de significância de 5%; ns = Não significativo; Modelo de Meyer (1), Schumacher-Hall (2), Spurr (3), Stoate (4), Hohenadl-Krenn (5), Näslund (6). Fonte: O autor.

Conforme o valor da estatística de (t de student), os modelos 2 e 3 foram significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). As equações 1, 4, 5 e 6 apresentaram pelo menos um dos coeficientes não significativos ($p \leq 0,05$), não sendo recomendadas o seu uso nas estimativas do volume individual para o povoamento de Guanandi. Pode-se verificar que as equações 3 e 6 apresentaram uma leve tendência em superestimar o volume, as demais obtiveram distribuição sem tendências nas estimativas. O modelo 2 de Schumacher-Hall, foi o que apresentou o melhor ajuste para o conjunto dos dados entre as equações testadas, com $R^2_{aj} = 88,59\%$ e $S_{yx} = 9,74\%$, além de distribuição dos resíduos satisfatória, evidenciando a seleção desse modelo para estimativa do volume individual para o povoamento de Guanandi Figuras 1 e 2).

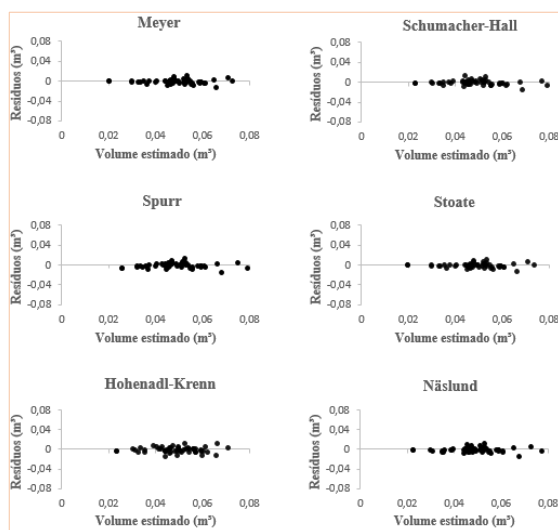
Resultado semelhante foi observado por Silva et al. (2019), que também constatou que a equação de Schumacher-Hall apresentou melhor precisão em trabalho realizado em plantio com a mesma espécie desse estudo. O bom ajuste pode ser constatado também pela relação entre o volume observado e o volume estimado. A figura 2 mostra boa sobreposição dos valores observados e estimados em toda a amplitude dos dados para a equação de melhor ajuste.

Figura 1 – Distribuição dos valores observados e estimados com base na equação de melhor ajuste para o Guanandi em floresta plantada em Igarassu (PE)



Em que: V = volume; DAP = Diâmetro a 1,30 m do solo. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 2 – Distribuição gráfica dos resíduos dos modelos testados para as estimativas do volume individual do Guanandi.



Fonte: Autoria própria (2022).

Conclusões

O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o de Schumacher-Hall, com bons índices de precisão, além de boa distribuição dos resíduos, sendo válido para estimativa do volume individual para o povoamento de Guanandi.

Agradecimentos/Apoio

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE); Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF/UFRPE); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Mozart Nascimento Pinho (Proprietário da área de estudo)

Referências Bibliográficas

- CARVALHO, P. E. R. **Guanandi**. Colombo: Embrapa Florestas, p. 14. 2003. Embrapa Florestas. Circular técnica, 78). <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/163849/1/CT-78-Paulo-Ernani-Carvalho.pdf>.
- CERQUEIRA, C. L.; LISBOA, G. S.; FRANÇA, L. C. J.; MÔRA, R.; MARQUES, G. M.; SALLES, T. T.; BRIANEZI, D. Modelagem da altura e volume de *Tectona grandis* LF na mesorregião Nordeste do Pará. **Nativa**, Sinop: Pesquisas Agrárias e Ambientais, v.5, p.606-611, 2017.
- CPRM - **Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Igarassu, estado de Pernambuco / Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Manoel Júlio da Trindade G. Galvão, Simeones Neri Pereira, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2020**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 21/02/2022.
- MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2.ed. Guarapuava: Unicentro, 2009.
- PIOTTO, D. **Projeto técnico de reflorestamento fazenda São Gabriel**, 2005.
- PIOTTO, D., MONTAGININI, F., UGALDE, L., KANNINEN, M. Performance of forest plantations in small and medium-sized farms in the Atlantic lowlands of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 175, p. 195-204, 2003.
- SILVA, M. C.; GOERGEN, S. F.; COELHO, M. C. B.; GIONGO, M.; ERPEN, M. L.; DOS SANTOS, A. F. Avaliação de modelos volumétricos para plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess na região sul do estado do Tocantins. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 6, n. 1, p. 202-208, 2018.
- SILVA, M. C.; VIEIRA, A. C.; ATAÍDE, Y. B.; RAMOS, Y. A.; COELHO, M. C. B.; GIONGO, M.; ERPEN, M. L. Volume, funções probabilísticas e produtividade em plantio de *Calophyllum brasiliense* no município de Dueré (TO). **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 2, p. 623-630, 2019.
- SILVA, R. L. da.; OLIVEIRA, M. L. de; MONTE, M. A.; XAVIER, A. Propagação clonal de guanandi (*Calophyllum brasiliense*) por miniestaquia. **Agronomia Costarricense**, v. 34, p. 99-104. 2010.