



Perfil do fuste comercial da espécie *Tectona grandis* L.f.

Fabricia Rodrigues da Silva^{1,*}, Júlio Cesar Wojciechowski¹, Anne Francis Agostini Santos¹

¹Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, MT, Brasil.

*Autor Correspondente: fabriciarodri@hotmail.com

Recebido: 15/06/2017; Aceito: 12/07/2017

Resumo: O objetivo deste estudo foi obter a estimativa do diâmetro e do volume ao longo do fuste de *Tectona grandis* propiciada pelo ajuste do modelo polinomial do quinto grau. O estudo foi realizado em um povoamento homogêneo de *Tectona grandis*, com 251,57 ha aos 13 anos de idade, na Fazenda IDC, localizada no município de Alta Floresta, estado do Mato Grosso. Para a coleta dos dados, foram utilizadas como referência as parcelas permanentes instaladas na área, apresentando 900 m² cada e espaçamento de 3 × 2,2 m. Em cada parcela foi coletado o diâmetro a altura do peito de todas as árvores, a altura comercial e, posteriormente, foram cubadas 32 árvores pela metodologia de Smalian. A avaliação da precisão do modelo de afilamento foi realizada considerando-se o coeficiente de determinação (R²aj.), o erro padrão da estimativa (Syx) e a distribuição gráfica dos resíduos. Para o diâmetro, o modelo testado apresentou coeficiente de determinação ajustados (R²aj.) de 0,91 e erro padrão da estimativa de 18,22%, enquanto para o volume, obteve-se um erro de 10,48%. A equação do quinto grau foi considerada eficiente na estimativa dos diâmetros e dos volumes ao longo dos fustes de *Tectona grandis*, podendo ser utilizada em inventários de multiprodutos na região de estudo e na faixa de idade observada.

Palavras-chave: teca; cubagem; volume comercial.

The commercial stem of the *Tectona grandis* L.f. species

Abstract: The main aim of this study was to estimate the diameter and volume of *Tectona grandis*, stems, provided by adjusting the fifth degree polynomial function. The study was carried out in a homogeneous *Tectona grandis* settlement, that had 251.57 ha at the age of 13 years old, and was located in the IDC Farm in Alta Floresta, Mato Grosso, Brazil. For the data collection, the permanent plots installed in the area, with 900 m² each and a spacing of 3 × 2.2 m, were used as a reference. In each plot, the diameter at breast height of all of the trees, and their commercial height were collected. Then 32 trees were covered using the Smalian methodology. An evaluation of the accuracy of the grinding model was performed considering the coefficient of determination (R²aj.), the standard error of the estimate (SEE), and the graphic distribution of the residues. For the diameter, the tested model had an adjusted coefficient of determination (R²aj.) of 0.91 and a standard error of the estimate of 18.22%. However, an error of 10.48% was obtained for the volume. The fifth degree equation was considered efficient in estimating the diameters and the volumes along the *Tectona grandis* stems, and can be used in multiproduct inventories in the study region, and within the observed age range.

Keywords: teak; cubing; commercial volume.

1. INTRODUÇÃO

A *Tectona grandis*, pertencente à família Lamiaceae, é uma árvore pioneira, decídua, de grande porte e copa circular. Sob condições ideais de crescimento, desenvolve tronco retilíneo, com altura superior a 25 m. Desenvolve-se em diversos solos e formações geológicas, porém, apresenta melhor desenvolvimento em solos drenados e profundos, com pH entre 6,5 e 7,5 (PANDEY & BROWN, 2000; KRISHNAPILLAY, 2000). É empregada em uma variedade de usos tradicionais e atuais, incluindo mobiliário, elementos estruturais, laminados e pisos. Essas propriedades mantêm a teca como uma das principais espécies de madeira tropical de alto valor neste século (CAMINO & MORALES, 2013).

No estado de Mato Grosso, praticamente todas as faixas de precipitação média anual mostraram-se favoráveis ao desenvolvimento da teca. Em locais com precipitação média anual variando de 1.200 até 2.400 mm, ela pode alcançar incrementos médios anuais de até 25 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (SHIMIZU et al., 2007). Silva (2012), estudando o crescimento de teca em Alta Floresta, Mato Grosso, obteve em plantios com 10 anos de idade um incremento médio anual (IMA) de 27,38 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ nas melhores classes de produtividade.

Nos estudos florestais, o afilamento do tronco tem como uma de suas funções fornecer informações para estimar o volume da árvore (KOZAK, 2004). Funções de afilamento são equações que descrevem a forma e o afilamento das árvores, representando a variação diamétrica ao longo do fuste em função do diâmetro à altura do peito (DAP) e das alturas relativas.

Com uma função de afilamento é possível estimar o diâmetro (d_i) em qualquer altura (h_i) do fuste e, a partir dessa função do d_i , pode-se obter o volume (v_i) de qualquer porção do tronco da árvore, empregando-se cálculos integrais. Assim, é possível realizar o sortimento individual de cada árvore (FIGUEIREDO FILHO et al., 2014).

Tais funções, devido à sua flexibilidade, permitem que seja realizada uma estratificação do tronco dos indivíduos, ou seja, uma quantificação dos múltiplos produtos existentes na floresta dentro de sortimentos já estabelecidos (QUEIROZ et al., 2008). Nesse contexto, o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de estimar o diâmetro e o volume em diferentes alturas dos fustes das árvores de *Tectona grandis*, com a aplicação do modelo polinomial de quinto grau.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em um povoamento homogêneo de teca, com área de 251,57 ha, aos 13 anos de idade, na Fazenda IDC (Irmãos De Carli), localizada no município de Alta Floresta, região norte do estado de Mato Grosso. As regiões norte e centro-norte mato-grossense possuem clima quente e úmido, com a presença de temperatura média anual superior a 24°C e pluviosidade média anual acima de 2.400 mm, destacando-se uma estação seca bem definida de 3 a 5 meses, tipo climático Am e Aw conforme Köppen (ZAPPI et al., 2011; ALVARES et al., 2013).

O plantio de teca com idade de 13 anos e espaçamento de 2,2 x 3 m tem o seguinte histórico de tratamentos silviculturais: no primeiro ano, ocorreu a limpeza dos talhões e replantio das mudas em casos de mortalidade superior a 20%; do segundo ao quarto ano, foi feita a limpeza com o uso de roçadeira e aplicação de herbicida para combate de gramíneas, sendo também realizada a desrama e o desbaste das árvores sem aproveitamento comercial; após o quinto ano, manteve-se a desrama até que o fuste comercial atingisse uma altura de 8 m e a roçada a cada 2 anos. O primeiro desbaste foi feito aos 6 anos e o segundo aos 12 anos, todos com intensidade de 25%.

Para a coleta dos dados foram utilizadas como referência as parcelas permanentes instaladas na área, com 900 m² cada, espaçamento de 3 x 2,2 m. Em cada parcela foi coletado o DAP de todas as árvores e a altura comercial (início da copa). Foi efetuada a cubagem rigorosa de 32 árvores para obtenção dos volumes reais individuais. Nesse sentido, as árvores cubadas foram selecionadas de forma a cobrir toda a amplitude diamétrica do povoamento, sendo medidas as circunferências ao longo do tronco nas posições: 0,0; 1,0; 1,30 e 2,0 m e em distâncias regulares de 2 m até a altura final da árvore, segundo método de Smalian (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2009). A distribuição de frequência das árvores empregadas na cubagem é apresentada na Tabela 1.

Os valores médios das principais variáveis coletadas das árvores cubadas podem ser observados na Tabela 2.

A partir do banco de dados, contendo DAP, altura (h), d_i e h_p , o modelo de afilamento do polinomial de quinto grau para as árvores amostra com a finalidade de obter as estimativas de diâmetro e volume, conforme a metodologia de Figueiredo Filho et al. (2014), indicada na Equação 1.

$$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H_i}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H_i}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H_i}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H_i}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H_i}\right)^5 + \varepsilon_i \tag{1}$$

Tabela 1. Distribuição de frequência de árvores-amostra utilizadas para ajuste do modelo.

Classes de DAP (cm)	Classes de altura comercial (m)						Total
	5 a 6,5	6,5 a 8	8 a 9,5	9,5 a 11	11 a 12,5	12,5 a 14	
12 a 16			1	2	1		4
16 a 20	1		2	2	4	2	11
20 a 24	1	1	2	2	1	1	8
24 a 28				3	1	1	5
28 a 32				2	1		3
32 a 36						1	1
Total	2	1	5	11	8	5	32

DAP: diâmetro à altura do peito.

Em que:

β_{is} = parâmetros a serem estimados;

d_i = diâmetro comercial (cm) ou diâmetro correspondente a qualquer altura h_i , especificada ou comercial;

DAP = diâmetro a 1,3 m de altura (cm);

H_i = altura total (m);

h_i = altura comercial (m);

ϵ_i = erro de estimativa.

Para se obter o volume (V), é necessário integrar suas áreas seccionais (g_i) entre o limite inferior (h_1) e superior (h_2) que se deseja. No caso de uma árvore, se o volume total é desejado, então $h_1 = 0$ e $h_2 =$ altura total da árvore. A representação da integral esta indicada na Equação 2.

$$V = K \int_{h_1}^{h_2} d_i^2 \delta h \tag{2}$$

Em que:

$K = \pi/40.000$;

d_i = diâmetro correspondente a qualquer altura h_i ao longo do fuste.

Resolvendo a integral da Equação 2, obtém-se a Equação 3.

$$V = K \cdot DAP^2 [c_0^2 h_i + c_1 c_0 h_i^2 + (2/3 c_2 c_0 + 1/3 c_1^2) h_i^3 + (1/2 c_3 c_0 + 1/2 c_2 c_1) h_i^4 + (2/5 c_4 c_0 + 2/5 c_3 c_1 + 1/5 c_2^2) h_i^5 + (1/3 c_4 c_1 + 1/3 c_5 c_0 + 1/3 c_3 c_2) h_i^6 + (2/7 c_5 c_1 + 2/7 c_4 c_2 + 1/7 c_3^2) h_i^7 + (1/4 c_5 c_2 + 2/7 c_4 c_3) h_i^8 + (2/9 c_5 c_3 + 1/9 c_4^2) h_i^9 + 1/11 c_5^2 h_i^{11}]_{h_1}^{h_2} + \epsilon_i \tag{3}$$

Em que:

$c_0 = \beta_0$; $c_1 = \beta_1/H_i$; $c_2 = \beta_2/H_i^2$; ...; $c_5 = \beta_5/H_i^5$; K , h_i , ϵ_i e DAP foram definidos anteriormente.

A avaliação da precisão da equação ajustada foi realizada considerando-se o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), o erro padrão da estimativa (S_{yx}) e a distribuição gráfica dos resíduos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros estimados para o modelo ajustado para o conjunto total dos dados estão apresentados na Tabela 3, com os respectivos coeficientes de determinação corrigidos ($R^2_{aj.}$) e erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$) e valor da estatística F-Snedecor da análise de variância da regressão.

O modelo apresentou coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) superior a 0,90. Quanto ao erro padrão da estimativa percentual ($S_{yx}\%$), no ajuste, observa-se que para a variável diâmetro, o erro foi de 18,22%, sendo signi-

Tabela 2. Análise estatística descritiva do diâmetro e volume, aos treze anos de idade, Alta Floresta, Mato Grosso.

Medidas de posição e dispersão	Diâmetro (cm)	Volume (m ³)
Mínimo	12,89	0,1031
Média	20,84	0,2745
Mediana	20,45	0,2332
Máximo	33,42	0,7937
Desvio padrão	4,85	0,1542

Tabela 3. Parâmetros e medidas de precisão estimados para o modelo ajustado para o diâmetro.

Modelo polinomial de quinto grau									
Diâmetro	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}(\%)$	F
	1,3308	-4,4837	19,5074	-41,8809	41,0696	-14,9542	0,9149	18,22	918,97

β : parâmetros estimados; $R^2_{aj.}$: coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} : erro padrão da estimativa percentual; F: valor da estatística F-Snedecor da análise de variância da regressão.

ficativa a regressão de acordo com o resultado da estatística F. Esses resultados foram próximos aos encontrados por Figueiredo et al. (2006) para povoamento de *Tectona grandis*, no estado do Acre. Quanto à distribuição dos resíduos, a equação não apresentou tendenciosidade na estimativa dos diâmetros ao longo do fuste (Figura 1).

Dessa forma, o modelo polinomial de quinto grau logo foi integrado para gerar a equação de volume, considerando que ele foi eficiente para descrever o perfil do fuste ao estimar os diferentes diâmetros a diferentes alturas pré-determinadas.

A equação do quinto grau estimou com precisão os volumes ao longo do fuste e obteve-se um erro padrão da estimativa percentual ($S_{yx}\%$) no ajuste considerado baixo (10,48%). Posteriormente, foi elaborado um gráfico de validação (Figura 2), resultado dos ajustes observados frente aos estimados que resultaram em um β_0 de 0,0125 e um β_1 de 1,0754, indicando a boa qualidade da estimativa dos volumes realizada pelo polinômio do quinto grau.

De forma semelhante ao resultado obtido para *Tectona grandis* no presente trabalho, Favalessa et al. 2012 concluíram que a equação do polinômio do quinto grau foi a que melhor estimou os perfis médios. Trabalhos apresentados por Schneider et al. (1996) e Miguel et al. (2011), manipulando *Eucalyptus* spp., concluíram que a equação do quinto grau oferece as melhores estimativas dos volumes ao longo dos fustes. Resultados semelhantes também foram encontrados por Yoshitani Junior et al. (2012), avaliando a precisão de funções de afilamento para estimar diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*, onde o polinômio do quinto grau apresentou os melhores resultados.

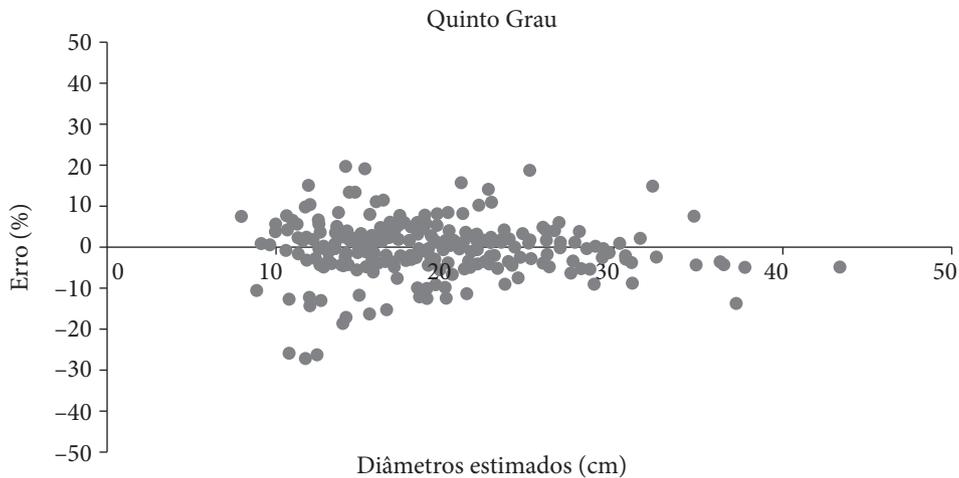


Figura 1. Distribuição dos resíduos percentuais em função do diâmetro estimado para o modelo ajustado para *Tectona grandis*.

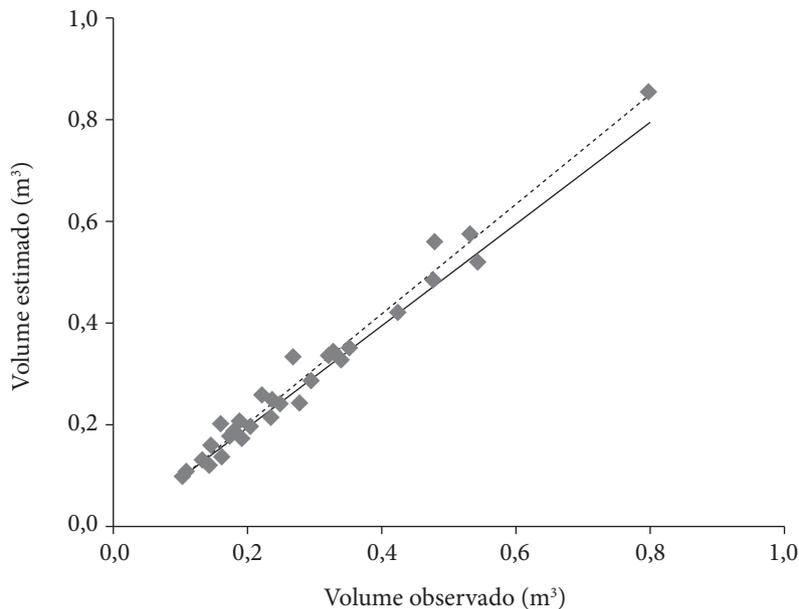


Figura 2. Volume estimado pelo modelo polinomial de quinto grau para *Tectona grandis*.

4. CONCLUSÕES

Para estimativa do diâmetro e do volume ao longo do fuste de *Tectona grandis*, a equação de afilamento do quinto grau ajustada neste estudo pode ser utilizada em inventários de multiprodutos na região e na faixa de idade observada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- CAMINO, R.; MORALES, J. P. Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades. *CATIE - Informe Técnico*, Turrialba, n. 397, 2013. 392 p.
- FAVALESSA, C. M. C.; UBIALLI, J. A.; CALDEIRA, S. F.; DRESCHER, R.; ACOSTA, F. C. Equações de sortimentos para *Tectona grandis* na região centro-sul de Mato Grosso. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 32, n. 72, p. 389-399, 2012. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.72.389>
- FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L.f. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 4, p. 465-482, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000400008>
- FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; MIRANDA, R. O. V. de; RETSLAFF, F. A. S. **Compêndio de equações de volume e de afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para as regiões fitogeográficas do Brasil**. Curitiba: Os Autores, 2014. 306 p.
- KOZAK, A. My last words on taper equations. *Forestry Chronicle*, Mattawa, v. 80, n. 4, p. 507-515, 2004. <https://doi.org/10.5558/tfc80507-4>
- KRISHNAPILLAY, B. Silviculture and management of teak plantations. *Unasyuva*, Roma, v. 51, n. 201, p. 14-21, 2000.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2009.
- MIGUEL, E. P.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E. Modelos polinomiais para representar o perfil e o volume do fuste de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás. *Floresta*, Curitiba, v. 41, n. 2, p. 355-368, 2011. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv41i2.21883>
- PANDEY, D.; BROWN, C. Teak: a global overview. *Unasyuva*, Roma, v. 51, n. 201, p. 3-13, 2000.
- QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba (PR). *Floresta*, Curitiba, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv38i2.11629>
- SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M.; TOTTI, J. A.; BAZZO, J. L. Forma de tronco e sortimentos de madeira de *Eucalyptus grandis* Maiden para o Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, v. 6, n. 1, p. 79-88, 1996.
- SHIMIZU, J. Y.; KLEIN, H.; OLIVEIRA, J. R. V. **Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso**. Cuiabá: Central de Texto, 2007. 63 p.
- SILVA, F. R. **Crescimento e Produção de *Tectona grandis* L. f. em um plantio no município de Alta Floresta, Mato Grosso**. Cuiabá – MT: Universidade Federal de Mato Grosso, 2012. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais), Universidade Federal de Mato Grosso, 2012.
- YOSHITANI JUNIOR, M.; NAKAJIMA, N. Y.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A.; DRUSZCZ, J. P.; HOSOKAWA, R. T.; MELLO, A. A. de. Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda*. *Floresta*, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 169-176, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv42i1.26315>
- ZAPPI, D. C.; SASAKI, D.; MILLIKEN, W.; IVA, J.; HENICKA, G. S.; BIGGS, N.; FRISBY, S. Plantas vasculares da região do Parque Estadual Cristalino, Norte de Mato Grosso, Brasil. *Acta Amazônica*, v. 41, p. 29-38, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672011000100004>