

Funções de afilamento não segmentadas e segmentadas para *Tectona grandis* na região centro-sul matogrossense

Cyro Matheus Cometti Favalessa¹, Jaime Antônio Ubiali¹, Sidney Fernando Caldeira¹, Ronaldo Drescher¹

¹Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Bairro Boa Esperança, CEP 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

*Autor correspondente:
cyromatheus@hotmail.com

Termos para indexação:

Tectona grandis
Forma do fuste
Cubagem rigorosa
Classes de diâmetro
Modelos polinomiais

Index terms:

Teak
Bole form
Rigorous tree scaling
Diameter classes
Models

Histórico do artigo:

Recebido em 21/09/2011
Aprovado em 07/12/2012
Publicado em 28/12/2012

doi: 10.4336/2012.pfb.32.72.373

Resumo - O objetivo deste estudo foi comparar a acurácia dos modelos polinomiais não segmentados do quinto grau e de Hradetzky de 1976 e os segmentados de Max e Burkhart de 1976 e Clark et al. de 1991, na estimativa dos diâmetros ao longo do fuste de *Tectona grandis* L.f., com ajustes para o conjunto total dos dados e por classe de diâmetro, em um povoamento com 16 anos, na região centro-sul matogrossense. A base de dados foi composta por 114 árvores, cubadas pela metodologia de Hohenadl modificada e distribuídas em classes de diâmetro. O ajuste dos modelos foi avaliado em função do coeficiente de determinação corrigido, erro padrão da estimativa e pela distribuição dos resíduos em porcentagem. A acuracidade dos modelos ao longo do fuste foi avaliada pelo desvio, desvio padrão das diferenças, somatório de quadrado dos resíduos relativos e a porcentagem dos resíduos. A Equação de Hradetzky foi a que apresentou o melhor ajuste para estimar os diâmetros ao longo do fuste de *Tectona grandis* tanto para o conjunto total dos dados quanto para as classes de diâmetro com os menores valores nas estatísticas auxiliares, exceto na Classe 3, onde a equação selecionada foi a de Clark et al.

Non-segmented and segmented taper models to Tectona grandis in center-southern region of Mato Grosso

Abstract - The aim of this study was to compare the accuracy of the non-segmented polynomial models of Fifth degree and Hradetzky from 1976 and the segmented models of Max and Burkhart from 1976 and Clark et al. from 1991, in estimating diameters along the stem of *Tectona grandis* L.f., with adjustments for the full set of data and by diameter class in a 16 years old stand in the center-southern region of Mato Grosso State, Brazil. The database consisted of 114 trees, scaled by the modified Hohenadl method and distributed in diameter classes. The models adjustments were evaluated according to the adjusted coefficient of determination, standard eError of estimate and distribution of residuals. The accuracy of the models along the stem was evaluated by deviation, standard deviations of differences, sum of squares of relative residuals and percentage of residuals. The Hradetzky equation was the most accurate to estimate diameters along the stem of *Tectona grandis*, both for the total data set and for diameter classes, except Class 3, where Clark et al. model was more accurate.

Introdução

Afilamento do tronco (“taper”) é definido como o decréscimo em diâmetro da base para sua extremidade superior. A descrição do perfil longitudinal dos fustes torna-se complexa, pois os fustes não seguem o mesmo padrão de forma em toda sua extensão. A forma dos fustes é comparada a vários sólidos geométricos diferentes, denominados de protótipos dendrométricos, onde as maiores irregularidades ocorrem em sua porção inferior.

Segundo Prodan et al. (1997), modelos de afilamento constituem uma importante ferramenta estatística de uso corrente na estimação dos perfis de fustes, pois permitem ao usuário estimar três características básicas das árvores: diâmetro em qualquer ponto do fuste, altura total ou a que se encontra em um diâmetro limite especificado e o volume entre pontos quaisquer do fuste.

Os modelos podem ser segmentados e não segmentados. Os modelos não segmentados são constituídos de um único modelo para toda a extensão dos fustes. Os modelos segmentados constituem-se no uso de sub-modelos justapostos, cada um representando uma porção do fuste. A união dos sub modelos se dá por meio da imposição de restrições ao modelo geral ajustado para seções inferiores, médias e superiores do fuste (Souza, 2007).

Vários estudos vem sendo desenvolvidos para representar o perfil dos fustes para *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp., porém pesquisas com *Tectona grandis* ainda são escassas. Partindo do exposto, o objetivo deste trabalho foi comparar a acurácia das estimativas dos diâmetros ao longo do fuste de *Tectona grandis* L. f. propiciadas por ajustes de modelos polinomiais segmentados e não segmentados para o conjunto total dos dados e com controle por classe diamétrica.

Material e métodos

Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido em um povoamento de *Tectona grandis* no município de Rosário Oeste, MT, em uma área circunscrita a um ponto central com a coordenada geográfica 56° 32' 47,47" W e 15° 02' 43,96" S, a 192 metros de altitude. A região onde os povoamentos se encontram possui características de clima do tipo Aw (Clima Tropical de estação seca), conforme a classificação de Köppen (Campelo Junior, 1991), e o solo da região é predominantemente do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Santos et al., 2006).

Obtenção dos dados de campo

Para o ajuste das equações previstas neste trabalho, foi efetuada a cubagem rigorosa de 114 árvores amostra, de um povoamento com 16 anos de idade, e submetido a dois desbastes, implantado por uma empresa de base florestal. As árvores foram distribuídas em cinco classes de diâmetro, cuja amplitude foi estabelecida com base no desvio padrão do DAP. A cubagem foi efetuada pelo método de Hohenadl modificado, sendo que para 60 árvores foi utilizado o método destrutivo, e outras 14 árvores foram cubadas em pé, com o auxílio da técnica de rapel. As 40 árvores restantes foram cubadas com o aparelho “Criterion modelo 400”. A indicação da eficiência do uso deste aparelho foi atestada por Nicoletti (2011) e Machado & Figueiredo Filho (2006) que citaram as pesquisas realizadas por Liu et al. (1993) e Labau (1991).

Os diâmetros reais foram determinados de acordo com Assis et al. (2001) e Souza (2007), em todas as 114 árvores, tomando-se as medidas dos diâmetros relativos a 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura total das árvores, e o diâmetro a 5,3 m para o ajuste do modelo de Clark et al. (1991). A altura total foi tomada onde o ápice do fuste mediu 5 cm de diâmetro. A intensidade amostral por classe diamétrica foi determinada pela variação dos volumes, considerando um limite de erro máximo de 10% a uma probabilidade de confiança de 95% (Tabela 1).

Modelos matemáticos empregados

Foram empregadas funções de afilamento segmentadas e não segmentadas para descrever os diâmetros. Os dois modelos polinomiais não segmentados empregados foram:

Modelo do quinto grau proposto por Schöepfer (1966):

$$\frac{d_i}{D} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{hi}{H} \right) + \beta_2 \left(\frac{hi}{H} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{hi}{H} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{hi}{H} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{hi}{H} \right)^5 + ei$$

sendo:

di = diâmetro à altura hi do tronco; H = altura total; hi = altura até uma seção “i₁...” i_n do fuste, em m; D = diâmetro à altura do peito; βi = parâmetros a serem estimados; ei = erro da estimativa.

Modelo de potências fracionárias (Hradetzky, 1976):

$$\frac{d_i}{D} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H} \right)^{p_1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H} \right)^{p_2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{H} \right)^{p_n} + e_i$$

Sendo:

p_n = Potências com maior relevância estatística; d_i , h_i , H , D , β_i , e_i conforme definidos anteriormente.

Quanto aos modelos polinomiais segmentados, os dois empregados foram:

Modelo segmentado de Max & Burkhardt (1976) :

$$d_i = D \left[\beta_1 (X - 1) + \beta_2 (X^2 - 1) + \beta_3 (a_1 - X)^2 * I_1 + \beta_4 (a_2 - X)^2 * I_2 \right]^{0,5} + e_i$$

Sendo:

a_1 e a_2 = pontos de ligação dos polinômios; d_i , D , h_i , H , e_i , β_i já definidos anteriormente;

$X = h_i / H$; Condições de I_i : $I_1 = 1$, se $X < a_1$; $I_1 = 0$, se $X > a_1$.

Modelo segmentado de Clark et al. (1991):

$$d_i = \left[I_s \left\{ D^2 \left(1 + \left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{D^3} \right) * \frac{\left(\left(1 - \frac{h_i}{H} \right)^{\alpha_3} - \left(1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\alpha_3} \right)}{1 - \left(1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\alpha_3}} \right) \right\} + I_b \left\{ D^2 - \frac{(D^2 - F^2) * \left(\left(1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\beta_1} - \left(1 - \frac{h_1}{H} \right)^{\beta_1} \right)}{\left(\left(1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\beta_1} - \left(1 - \frac{5,3}{H} \right)^{\beta_1} \right)} \right\} + I_T \left\{ F^2 \left(\gamma_2 \left(\left(\frac{h_1 - 5,3}{H - 5,3} \right) - 1 \right)^2 \right) + I_M \left(\frac{1 - \gamma_2}{\gamma_1^2} \right) * \left(\gamma_1 - \left(\left(\frac{h_1 - 5,3}{H - 5,3} \right) \right)^2 \right) \right\} \right]^{0,5} + e_i$$

Sendo:

$I_s = 1$, se $h_i < 1,3$ m; $I_s = 0$, se $h_i > 1,3$ m; $I_b = 1$, se $1,3 \text{ m} < h_i < 5,2$ m; 0 , se difere da condição anterior; $I_T = 1$, se $h_i > 5,2$ m; 0 , se difere da condição anterior; $I_M = 1$, se $h_i < (5,3 + (h_i - 5,3))$; 0 , se diferente da condição anterior; α_i = parâmetros a serem estimados para a seção do tronco abaixo de 1,3 m; β_i = parâmetro a ser estimado para a seção do tronco entre 1,3 m e 5,3 m; γ_i = parâmetros a serem estimados para a seção do tronco acima de 5,3 m; F = diâmetro com casca (cm) a 5,3 m de altura (classe de altura do quociente de forma de Girard); D , d , H , h_i = já definidos anteriormente; e_i = erro de estimativa.

Tabela 1. Distribuição de frequências, diâmetro médio e altura média das árvores de *Tectona grandis* cubadas nas diferentes classes de diâmetro.

N ° da Classe	Faixa de DAP (cm)	Frequência	Altura média (m)	DAP médio (cm)	Volume médio (m³)
1	22,90 - 27,20	22	17,72	25,93	0,4648
2	27,21 - 31,50	26	18,46	29,22	0,5915
3	31,51 - 35,70	17	19,01	34,08	0,7960
4	35,71 - 40,00	33	19,25	38,13	1,0110
5	40,10 - 44,00	16	20,28	41,75	1,2621
Total		114	18,88	33,65	0,8131

Processamento dos dados

Para os ajustes das funções de afilamento segmentadas e não segmentadas e para a obtenção dos coeficientes da regressão foi utilizado o programa SAS 8. O ajuste do modelo proposto por Hradetzky foi realizado pelo processo de regressão “passo - a - passo” (“stepwise”). As potências utilizadas foram: 0,005; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 15; e 25. No caso das funções segmentadas, o algoritmo utilizado para minimizar a soma de quadrado dos resíduos foi o de Marquardt.

Avaliação estatística das equações

Para avaliar o ajuste das funções de afilamento segmentadas e não segmentadas foram calculados o coeficiente de determinação corrigido (R^2), o erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$), e avaliada a distribuição percentual dos resíduos. Para analisar o desempenho das estimativas ao longo do fuste, foram calculados o desvio (D), o desvio padrão das diferenças (SD), o somatório dos quadrados dos resíduos relativos (SQRR) e o resíduos percentuais (RP), como utilizados por Figueiredo Filho et al. (1996); Fischer (1997); Scolforo et al. (1998); Assis (2000); Assis et al. (2001, 2002) e Queiroz (2006). Tais estatísticas (Tabela 2) permitiram uma avaliação mais detalhada do desempenho das estimativas ao longo de todo o fuste, uma vez que foi calculada para cada altura relativa, onde foram tomados os diâmetros por ocasião da cubagem rigorosa. Foi avaliada também a possível tendenciosidade através dos perfis médios reais e estimados para os diâmetros ao longo do fuste.

Tabela 2. Fórmulas utilizadas no teste de acuracidade para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste de *Tectona grandis*.

	Diâmetros
Desvio (D)	$\frac{(\sum Diff_i)}{N}$
Desvio padrão das diferenças (SD)	$\left[\frac{\sum (Diff_i - d_i)^2}{(N-1)} \right]^{0.5}$
Soma do quadrado do resíduo relativo (SQRR)	$\sum \left(\frac{Diff_i}{d_i} \right)^2$
Porcentagem dos resíduos (RP)	$\frac{\sum \left(\frac{Diff_i}{d_i} \right) * 100}{N}$

Sendo: $Diff_i = (d_i - d_{estimado})$ desvio dos diâmetros; D_i = diâmetro da árvore na posição i do fuste; N = número de árvores.

A partir dessas estatísticas foi elaborado um ranking para expressar o desempenho dos modelos testados na estimativa dos diâmetros ao longo do fuste, para cada classe diamétrica e para o conjunto total dos dados, sendo desconsiderado o controle de classes. Avaliando-se cada uma das estatísticas auxiliares, foram atribuídas notas de 1 a 4, respectivamente, para a mais acurada e a menos acurada, em cada posição relativa de medição, procedimento esse utilizado por Figueiredo Filho et al. (1996); Fischer (1997); Scolforo et al. (1998); Assis et al. (2001); Figueiredo et al. (2006); Queiroz (2006); Souza (2007, 2009).

Resultados e Discussão

Ajuste dos modelos de afilamento para o conjunto total de dados e por classes de diâmetro

Os parâmetros estimados para os quatro modelos testados por classe diamétrica e para o conjunto total dos dados estão apresentados na Tabela 3, com os respectivos erros padrões da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$) que corresponde ao erro médio percentual associado ao uso da equação, e coeficientes de determinação corrigidos (R^2) que demonstram a correlação entre as variáveis independentes e a variável dependente, porém não se constituem no instrumento mais adequado para a tomada de decisão sobre qual modelo apresenta o melhor desempenho. Estas estatísticas retratam valores médios, não fornecendo nenhum indicativo do comportamento ao longo do fuste. Os testes foram complementados pelas estatísticas da Tabela 2, permitindo assim uma avaliação mais detalhada ao longo do fuste.

Os modelos testados apresentaram coeficientes de determinação corrigidos (R^2) superiores a 0,95 e erros padrão da estimativa percentuais ($S_{yx}\%$) entre 4 e 10%, conforme observado na Tabela 3.

O modelo do quinto grau, apesar de apresentar valores do coeficiente de determinação corrigido (R^2) superiores a 0,95 e o Erro Padrão da Estimativa percentual ($S_{yx}\%$) abaixo de 10%, foi o que apresentou os menores valores para R^2 , e os maiores valores para o $S_{yx}\%$ que correspondem aos piores resultados, tanto para o conjunto total dos dados, quanto para o ajuste por classe diamétrica, confirmando o resultados encontrados por Figueiredo et al. (2006), para povoamento de *Tectona grandis*, no estado do Acre.

Ajustes mais apropriados e bastante semelhantes entre si foram detectados para os modelos de Clark et

al. (1991), Hradetzky (1976) e Max & Burkhardt (1976). No entanto, para o modelo de Clark et al. (1991) o ajuste foi superior em função dos melhores resultados para os parâmetros estatísticos testados. As equações apresentaram alguma tendenciosidade ao longo da linha média, sobretudo na porção superior do fuste onde ocorrem os menores diâmetros (Figura 1). Essa tendência foi constatada por Queiroz (2006), para *Mimosa scabrella* Benthham na região metropolitana de Curitiba, PR, e é observada no ajuste por classe diamétrica.

Acuracidade dos modelos para estimativa dos diâmetros nas alturas relativas do fuste

Para o conjunto total dos dados a equação de Hradetzky foi a mais acurada nas alturas relativas a 0, 1, 2, 5, 25, 35, 45, 65, 85 e 95% da altura total das árvores, ou seja, em 53% das posições relativas estudadas. Esta

equação descreveu com maior eficácia os diâmetros na base dos fustes, onde se apresentam os maiores diâmetros, mostrando que a inclusão de variáveis de maiores potências conseguem descrever melhor as irregularidades desta parte das árvores (Tabela 4). Esta tendência foi também demonstrada por Conceição (2004) e por Souza (2005), para *Eucalyptus* spp. e igualmente por Assis et al. (2002) e por Machado et al. (2004), para *Pinus* spp.

Nas equações ajustadas por classes diamétricas, para a estimativa dos diâmetros ao longo dos fustes, o modelo de Hradetzky foi mais acurado para quatro das cinco classes estudadas (1, 2, 4 e 5). No entanto, na classe 3, a equação de Clark et al. foi melhor em 53,12% das alturas relativas do fuste e descreveu melhor a base dos fustes das árvores (Tabelas 5 a 9).

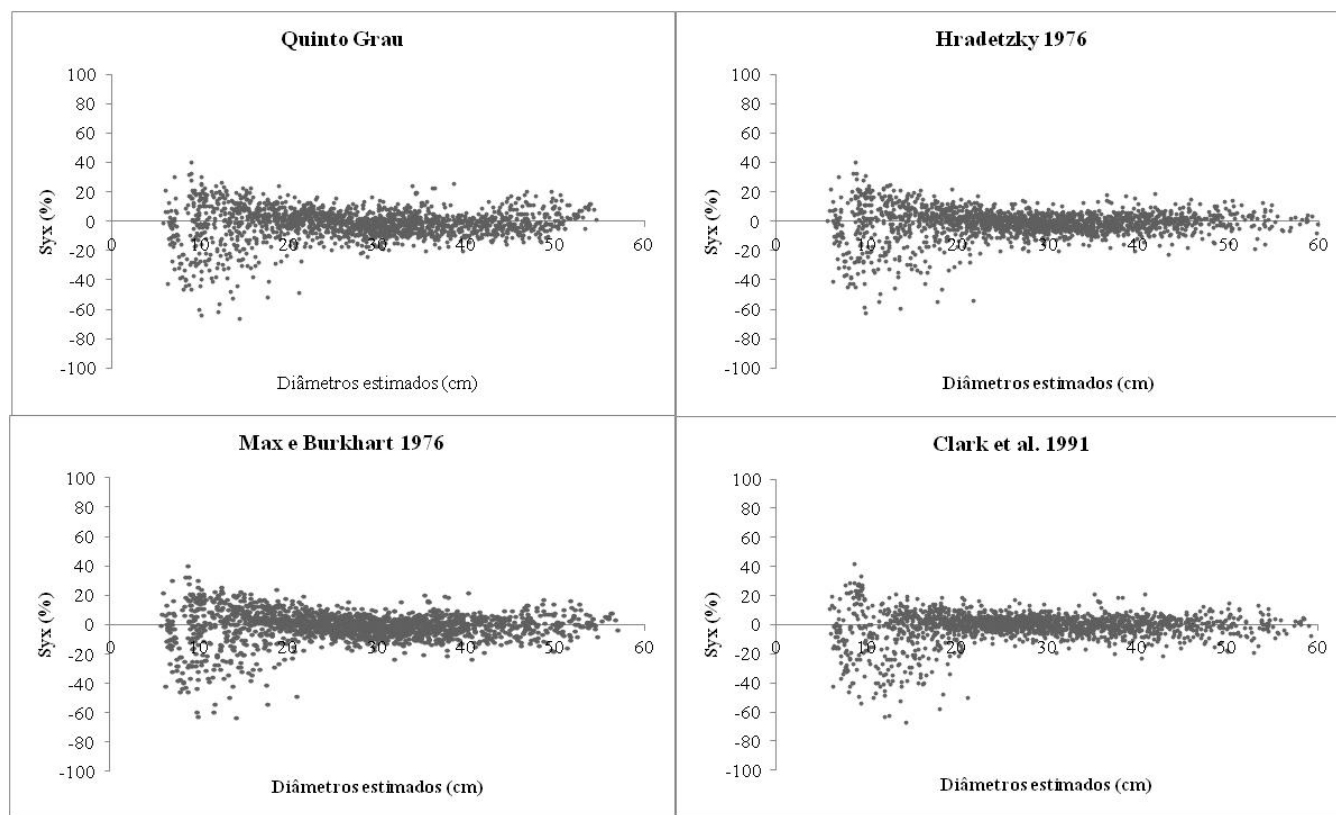


Figura 1. Distribuição dos resíduos (%) em função dos diâmetros estimados para o conjunto total dos dados para os modelos testados para *Tectona grandis*.

Tabela 3. Parâmetros e medidas de precisão estimados para os modelos testados, por classe diamétrica e para o conjunto total de dados para *Tectona grandis* l.f.

Quinto Grau										
Classes	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	Syx (%)	R²		
1	1,2775	-5,3685	23,7782	-49,4860	45,5959	-15,6179	8,43	0,95		
2	1,2730	-5,5859	25,7571	-55,1281	51,5892	-17,7422	8,64	0,95		
3	1,2787	-6,0073	28,9401	-64,9790	64,0113	-23,1015	9,33	0,95		
4	1,3231	-6,3505	29,1961	-64,2126	63,2122	-23,0363	8,18	0,96		
5	1,3137	-6,5828	31,1593	-70,0680	70,6305	-26,3312	6,23	0,98		
Conjunto Total	1,2945	-5,9442	27,4711	-59,9574	58,0700	-20,7857	8,52	0,96		
Hradetzky										
Classes	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	Syx (%)	R²
1	385,6015	-512,8751	128,1212	-0,6586					7,05	0,96
potências		0,005	0,02	2						
2	33,8869	-33,4330	0,5633	-0,9594	0,1138				7,60	0,96
potências		0,005	0,7	2,00	6					
3	32,8052	-32,3269	0,3438	-0,6697					8,32	0,96
potências		0,005	0,6	2						
4	34,4614	-33,9796	0,2310	-0,5103	-0,0662				7,22	0,97
potências		0,005	0,5	2	25					
5	35,4082	-34,9820	0,2560	-0,4403	-0,1173				4,42	0,99
potências		0,005	0,4	2	25					
Conjunto Total	5690,8028	-7399,8394	-296,8023	2006,0246	1,6340	-2,1013	0,5676	-0,1328	7,23	0,97
potências		0,005	0,08	0,03	2	3	7	25		
Max & Burkhardt										
Classes	a1	a2	β_1	β_2	β_3	β_4	Syx (%)	R²		
1	0,0463	0,8951	3,7974	-2,5541	421,1	2,8928	7,35	0,99		
2	0,0484	0,9500	10,117	-5,678	345,1	6,1088	7,80	0,96		
3	0,0490	0,9500	22,1954	-11,9606	360,1	12,5128	8,39	0,95		
4	0,0695	0,9500	29,4208	-15,7551	191,9	16,2617	7,46	0,96		
5	0,0700	0,9210	16,1841	-9,0639	192,3	9,535	4,91	0,98		
Conjunto Total	0,0652	0,9503	24,0654	-12,9708	207,6	13,3995	7,74	0,97		
Clark et al.										
Classes	α_1	α_2	α_3	β_1	Υ_1	Υ_2	Syx (%)	R²		
1	1,6065	-7587,6	66,441	6,6336	1,019	-27,6815	6,97	0,97		
2	0,6733	9585,0	63,3028	7,4555	1,02	-21,6426	7,45	0,96		
3	1,2221	-4567,0	65,1981	8,1976	1,0855	-4,2475	6,94	0,96		
4	1,1413	1046,5	52,0951	3,7769	1,086	-5,4424	6,04	0,97		
5	1,2316	-5647,3	57,1958	5,2601	1,111	-4,6051	4,84	0,98		
Conjunto Total	1,2513	-4572,8	57,9901	5,4674	1,069	-6,6875	7,15	0,97		

Tabela 4. Desvio (D), somatório dos quadrados dos resíduos relativos (SSRR), desvio padrão das diferenças (SD) e resíduo percentual (RP) dos modelos polinomiais segmentados e não segmentados para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste das árvores de *Tectona grandis*. e o somatório das notas obtidas em cada altura relativa para o ajuste do conjunto total dos dados, para cada modelo.

Modelo	Alturas relativas de medição (%)															
	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95
5° grau	D	3,611	0,106	-1,305	-1,643	-1,380	-0,845	0,788	1,171	0,399	-0,801	-0,788	0,512	0,300	-0,602	0,005
	SD	5,304	3,063	2,441	2,259	1,975	1,568	1,449	2,049	1,393	1,738	2,038	1,673	2,214	2,031	1,789
	SSRR	1,271	0,623	0,543	0,508	0,410	0,249	0,238	0,716	0,297	0,522	0,847	0,789	2,087	2,468	5,565
	RP	7,011	-0,623	-3,832	-4,841	-4,188	-2,590	2,475	3,722	1,552	-3,046	-3,295	-0,780	1,751	0,492	-8,251
Hradetzky	D	0,095	-0,030	0,228	-0,017	-0,050	0,079	-0,023	-0,204	-0,070	-0,151	-0,086	-0,210	-0,126	-0,010	0,077
	SD	3,777	3,055	2,107	1,592	1,441	1,322	1,242	1,726	1,364	1,496	1,821	1,682	2,183	2,018	1,793
	SSRR	0,830	0,633	0,348	0,223	0,197	0,164	0,177	0,623	0,279	0,398	0,682	0,798	2,240	2,601	3,912
	RP	-0,570	-0,952	0,154	-0,395	-0,432	0,070	-0,079	-0,927	1,000	-0,463	-0,286	-1,023	-1,794	-1,615	-3,625
Max & Burkhardt	D	1,702	-1,125	-1,242	-0,495	0,519	1,401	0,371	-0,544	-0,642	-0,222	0,451	0,631	0,519	0,059	-0,400
	SD	4,180	3,219	2,402	1,652	1,549	1,939	1,283	1,809	1,540	1,510	1,832	1,728	2,216	2,017	1,931
	SSRR	0,867	0,806	0,525	0,260	0,205	0,323	0,188	0,676	0,350	0,404	0,697	0,827	2,088	2,562	4,444
	RP	2,849	-3,599	-3,669	-1,704	1,176	3,876	1,162	-2,076	-2,278	-0,746	2,013	2,990	1,790	-1,141	-6,440
Clark et al.	D	0,758	-1,026	-0,250	0,214	0,444	0,488	-0,263	-0,148	0,664	0,453	0,466	0,144	-0,265	-0,727	1,419
	SD	3,844	3,126	2,084	1,586	1,504	1,400	1,139	1,515	1,375	0,960	1,528	1,473	2,023	2,043	2,415
	SSRR	0,811	0,726	0,361	0,211	0,196	0,175	0,155	0,494	0,238	0,162	0,458	0,602	2,101	3,093	5,721
	RP	1,065	-3,125	-0,958	0,306	0,987	1,248	-0,973	-0,969	2,117	1,582	1,715	0,272	-2,939	-6,914	-9,917
Notas																
5° grau	16	6	16	16	15	12	16	16	10	16	16	16	8	8	12	6
Hradetzky	5	6	5	7	5	4	6	7	5	6	6	12	9	9	4	9
Max & Burkhardt	12	16	12	12	13	16	12	12	16	10	11	16	12	7	8	9
Clark et al.	7	12	7	5	7	8	6	5	9	8	7	4	9	16	16	16

Tabela 5. Desvio (D), somatório dos quadrados dos resíduos relativos (SSRR), desvio padrão das diferenças (SD) e resíduo percentual (RP) dos modelos polinomiais segmentados e não segmentados para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste das árvores de *Tectona grandis* e o somatório das notas obtidas em cada altura relativa para o ajuste da classe 1, para cada modelo.

Alturas relativas de medição (%)																	
Modelo	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95	
5° grau	D	3,912	0,658	-1,917	-2,031	-1,578	-1,286	1,077	1,611	0,717	-0,742	-1,213	0,142	1,092	0,381	-1,203	0,506
	SD	1,675	0,861	0,949	0,884	0,751	0,621	0,703	0,750	0,491	0,535	0,658	0,480	0,655	0,554	0,735	0,492
	SSRR	0,092	0,030	0,051	0,046	0,037	0,028	0,034	0,045	0,024	0,039	0,072	0,042	0,096	0,101	0,342	0,203
	RP	0,934	0,146	-0,587	-0,638	-0,517	-0,437	0,369	0,612	0,292	-0,369	-0,652	0,041	0,631	0,200	-1,287	0,475
Hradetzky	D	0,532	-0,832	0,090	-0,109	0,010	0,442	0,250	0,027	-0,378	-0,577	0,072	0,253	0,235	0,209	-0,211	-0,269
	SD	3,439	2,263	1,806	1,140	1,091	0,926	0,907	1,037	1,108	0,965	0,983	1,013	1,329	1,541	1,098	0,777
	SSRR	0,188	0,140	0,086	0,042	0,041	0,028	0,030	0,041	0,062	0,058	0,063	0,075	0,206	0,402	0,373	0,464
	RP	0,530	-3,174	-0,032	-0,607	-0,166	1,566	0,935	-0,065	-1,948	-2,972	0,193	1,259	0,918	0,235	-3,492	-5,662
Max & Burkhardt	D	1,137	-1,412	-0,357	0,231	0,750	0,879	-0,372	-0,773	-0,912	-0,716	0,222	0,524	0,449	0,227	-0,426	-0,007
	SD	3,575	2,521	1,842	1,160	1,319	1,185	0,954	1,284	1,376	1,052	1,002	1,103	1,376	1,543	1,159	0,727
	SSRR	0,190	0,178	0,094	0,041	0,053	0,044	0,035	0,070	0,100	0,068	0,064	0,087	0,211	0,401	0,436	0,368
	RP	2,248	-5,022	-1,546	0,613	2,566	3,190	-1,578	-3,477	-4,431	-3,672	0,989	2,828	2,348	0,386	-5,797	-1,447
Clark et al.	D	0,777	-1,208	0,079	0,200	0,321	0,557	-0,172	0,080	0,184	-0,219	0,280	0,254	-0,008	-0,220	-0,537	0,646
	SD	3,415	2,418	1,845	1,129	1,118	0,969	0,800	0,881	0,597	0,854	1,177	1,008	0,908	1,494	1,187	0,992
	SSRR	0,183	0,160	0,089	0,039	0,041	0,030	0,024	0,028	0,016	0,040	0,083	0,075	0,101	0,395	0,447	0,498
	RP	1,295	-4,318	-0,050	0,520	0,993	1,999	-0,761	0,190	0,782	-1,097	1,336	1,351	-0,387	-3,015	-6,844	9,069
Notas																	
5° grau	16	4	16	16	15	12	16	16	11	13	14	6	12	13	8	14	
Hradetzky	6	8	5	8	5	4	8	6	9	8	4	9	8	5	4	8	
Max & Burkhardt	12	16	11	11	10	16	12	12	16	15	8	16	16	14	12	4	
Clark et al.	6	12	8	5	10	8	4	6	4	4	14	9	4	8	16	14	

Tabela 6. Desvio (D), somatório dos quadrados dos resíduos relativos (SSRR), desvio padrão das diferenças (SD) e resíduo percentual (RP) dos modelos polinomiais segmentados e não segmentados para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste das árvores de *Tectona grandis* e o somatório das notas obtidas em cada altura relativa para o ajuste da classe 2, para cada modelo.

Modelo	Alturas relativas de medição (%)																
	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95	
5º grau	D	3,011	-0,248	-1,167	-1,370	-1,048	-0,697	0,906	0,722	0,390	-0,323	-0,674	-0,025	0,370	0,344	-0,367	-0,299
	SD	2,380	1,114	0,925	0,905	0,722	0,628	0,753	1,160	0,526	0,608	0,751	0,691	1,110	0,934	0,830	0,545
	SSRR	0,315	0,112	0,102	0,101	0,067	0,053	0,077	0,389	0,050	0,086	0,162	0,159	0,668	0,571	0,876	0,733
	RP	1,561	-0,257	-0,860	-1,023	-0,803	-0,560	0,694	0,421	0,345	-0,388	-0,809	-0,143	0,039	0,168	-1,523	-1,513
Hradetzky	D	0,506	-0,760	-0,183	-0,063	0,183	0,293	0,395	-0,557	-0,460	-0,064	0,024	0,293	0,069	-0,108	-0,280	0,113
	SD	1,915	1,165	0,745	0,624	0,526	0,551	0,645	1,145	0,545	0,589	0,672	0,703	1,098	0,925	0,822	0,525
	SSRR	0,221	0,129	0,063	0,045	0,033	0,037	0,059	0,447	0,058	0,077	0,122	0,155	0,702	0,632	0,832	0,548
	RP	0,098	-0,588	-0,179	-0,077	0,112	0,193	0,274	-0,728	-0,463	-0,128	-0,046	0,243	-0,399	-0,651	-1,308	-0,070
Max & Burkhardt	D	1,212	-1,200	-0,554	0,276	0,932	0,798	-0,329	-1,446	-0,908	0,039	0,465	0,780	0,336	-0,203	-0,622	0,265
	SD	1,988	1,246	0,786	0,635	0,681	0,654	0,637	1,312	0,662	0,588	0,704	0,780	1,108	0,929	0,865	0,536
	SSRR	0,225	0,153	0,072	0,045	0,053	0,050	0,064	0,565	0,089	0,076	0,126	0,179	0,670	0,654	1,032	0,533
	RP	0,509	-0,873	-0,435	0,168	0,669	0,577	-0,320	-1,525	-0,888	-0,024	0,435	0,832	-0,010	-0,824	-2,153	0,461
Clark et al.	D	0,725	-1,052	-0,094	0,303	0,502	0,364	-0,015	-0,368	0,282	0,435	0,285	0,137	-0,623	-1,281	-1,502	0,360
	SD	1,914	1,222	0,751	0,634	0,569	0,558	0,569	0,922	0,388	0,405	0,577	0,669	1,094	1,041	1,029	0,512
	SSRR	0,214	0,146	0,062	0,045	0,037	0,037	0,048	0,305	0,030	0,035	0,086	0,151	0,764	0,947	1,776	0,499
	RP	0,220	-0,785	-0,122	0,185	0,348	0,247	-0,059	-0,515	0,265	0,417	0,276	0,080	-1,355	-2,698	-4,259	0,842
Notas																	
5º grau	16	4	16	15	16	13	16	10	8	14	16	8	10	8	8	12	
Hradetzky	6	8	7	5	4	4	10	10	12	9	6	11	9	6	4	5	
Max & Burkhardt	12	16	12	11	12	15	10	16	16	5	12	16	8	10	12	7	
Clark et al.	6	12	5	9	8	8	4	4	4	12	6	5	13	16	16	16	

Tabela 7. Desvio (D), somatório dos quadrados dos resíduos relativos (SSRR), desvio padrão das diferenças (SD) e resíduo percentual (RP) dos modelos polinomiais segmentados e não segmentados para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste das árvores de *Tectona grandis* e o somatório das notas obtidas em cada altura relativa para o ajuste da classe 3, para cada modelo.

Alturas relativas de medição (%)																	
Modelo	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95	
5° grau	D	3,421	0,068	-1,109	-1,661	-1,515	-0,657	0,986	1,222	0,298	-0,644	-0,207	-0,401	0,681	0,550	-0,622	0,013
	SD	2,038	1,223	1,036	0,821	0,776	0,702	0,599	0,873	0,681	0,644	0,766	0,819	1,061	0,828	0,920	1,052
	SSRR	0,196	0,104	0,091	0,067	0,063	0,048	0,038	0,076	0,059	0,076	0,123	0,194	0,385	0,361	1,051	1,606
	RP	0,965	-0,095	-0,512	-0,714	-0,680	-0,324	0,434	0,549	0,101	-0,421	-0,230	-0,477	0,216	0,226	-1,586	-1,478
Hradetzky	D	0,622	-0,419	0,001	-0,251	-0,235	0,324	0,324	-0,088	-0,095	0,241	0,774	-0,379	-0,276	-0,364	-0,347	0,881
	SD	1,525	1,228	0,954	0,538	0,533	0,670	0,478	0,732	0,671	0,600	0,817	0,818	1,028	0,807	0,900	1,112
	SSRR	0,138	0,112	0,068	0,027	0,027	0,038	0,026	0,059	0,061	0,059	0,121	0,192	0,453	0,447	0,928	1,156
	RP	0,049	-0,271	-0,082	-0,138	-0,138	0,096	0,125	-0,108	-0,113	0,093	0,381	-0,461	-0,606	-0,733	-1,195	0,255
Max & Burkhardt	D	1,015	-1,279	-0,545	0,198	0,812	1,141	-0,484	-1,265	-0,982	-0,047	0,999	0,135	0,252	-0,098	-0,570	0,130
	SD	1,574	1,305	0,972	0,538	0,621	0,794	0,495	0,874	0,767	0,593	0,852	0,810	1,030	0,797	0,915	1,054
	SSRR	0,141	0,136	0,076	0,025	0,031	0,051	0,031	0,100	0,091	0,060	0,128	0,168	0,402	0,407	1,025	1,517
	RP	0,176	-0,581	-0,293	0,045	0,305	0,446	-0,253	-0,698	-0,596	-0,074	0,522	-0,082	-0,152	-0,454	-1,511	-1,244
Clark et al.	D	0,472	-0,995	0,071	0,182	0,115	0,330	-0,211	0,065	0,488	0,735	1,343	0,112	-0,041	-0,523	-0,896	0,418
	SD	1,491	1,248	0,946	0,534	0,527	0,669	0,415	0,539	0,503	0,432	0,877	0,758	0,963	0,718	0,866	1,024
	SSRR	0,134	0,122	0,066	0,025	0,025	0,038	0,022	0,033	0,033	0,031	0,136	0,151	0,411	0,400	1,053	1,275
	RP	0,003	-0,476	-0,053	0,040	0,010	0,099	-0,122	-0,015	0,232	0,416	0,760	-0,073	-0,375	-0,850	-1,901	-0,613
Notas																	
5° grau	16	4	16	16	16	12	12	16	12	9	15	5	16	11	7	12	11
Hradetzky	8	8	7	12	8	6	8	8	7	9	9	7	12	12	13	4	10
Max & Burkhardt	12	16	12	8	12	16	12	16	16	16	7	12	8	8	9	8	11
Clark et al.	4	12	5	4	4	6	4	4	4	8	9	16	4	9	11	16	8

Tabela 8. Desvio (D), somatório dos quadrados dos resíduos relativos (SSRR), desvio padrão das diferenças (SD) e resíduo percentual (RP) dos modelos polinomiais segmentados e não segmentados para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste das árvores de *Tectona grandis* e o somatório das notas obtidas em cada altura relativa para o ajuste da classe 4, para cada modelo.

Modelo	Alturas relativas de medição (%)																
	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95	
5º grau	D	3,943	0,068	-1,671	-1,887	-1,570	-0,950	0,837	1,645	0,591	-1,012	-0,722	0,189	0,809	0,166	-0,809	0,328
	SD	3,077	2,090	1,574	1,488	1,271	0,939	0,753	1,157	0,786	0,935	1,104	0,773	1,301	1,214	1,219	1,127
	SSRR	0,341	0,220	0,163	0,163	0,126	0,070	0,048	0,127	0,070	0,146	0,224	0,126	0,551	0,751	1,667	1,964
	RP	1,979	-0,153	-1,182	-1,366	-1,170	-0,724	0,656	1,373	0,505	-1,140	-0,966	0,134	0,781	-0,296	-2,750	-0,479
Hradetzky	D	0,531	-0,537	-0,343	-0,161	0,037	0,330	0,196	0,135	-0,125	-0,342	0,208	0,324	0,107	-0,450	-0,501	0,718
	SD	2,259	2,109	1,308	1,094	0,951	0,805	0,618	0,758	0,721	0,784	1,039	0,786	1,231	1,235	1,171	1,178
	SSRR	0,215	0,235	0,106	0,084	0,067	0,048	0,033	0,058	0,065	0,098	0,175	0,127	0,569	0,882	1,473	1,818
	RP	0,110	-0,519	-0,313	-0,180	-0,028	0,206	0,139	0,074	-0,179	-0,437	0,087	0,302	-0,241	-1,401	-2,041	0,740
Max & Burkhardt	D	2,063	-1,144	-1,572	-0,666	0,486	1,549	0,468	-0,400	-0,896	-0,785	0,172	0,598	0,525	-0,072	-0,350	0,020
	SD	2,495	2,177	1,545	1,148	0,986	1,140	0,657	0,786	0,863	0,870	1,037	0,830	1,260	1,211	1,155	1,114
	SSRR	0,236	0,261	0,157	0,095	0,069	0,090	0,037	0,065	0,099	0,125	0,175	0,137	0,548	0,790	1,392	2,166
	RP	0,949	-0,885	-1,117	-0,527	0,291	1,092	0,359	-0,386	-0,915	-0,902	0,045	0,645	0,368	-0,722	-1,691	-1,441
Clark et al		0,929	-1,135	-0,502	0,254	0,642	0,798	-0,367	-0,092	1,026	0,694	0,858	0,628	0,078	-0,746	-0,852	0,528
	SD	2,292	2,175	1,317	1,091	0,999	0,886	0,593	0,697	0,885	0,507	0,977	0,766	1,160	1,180	1,199	1,125
	SSRR	0,214	0,261	0,109	0,080	0,069	0,056	0,032	0,050	0,091	0,038	0,150	0,114	0,547	0,902	1,677	1,837
	RP	0,328	-0,880	-0,417	0,106	0,402	0,547	-0,309	-0,111	0,950	0,713	0,875	0,725	-0,236	-1,860	-2,802	0,199
Notas																	
5º grau	16	4	16	16	16	12	16	16	9	16	14	5	15	7	13	10	
Hradetzky	5	8	4	7	4	4	6	7	4	6	9	10	10	13	8	12	
Max e Burkhardt	12	16	12	12	8	14	12	12	13	12	7	14	11	7	4	10	
Clark et al	7	12	8	5	12	10	6	5	15	6	10	11	4	13	15	8	

Tabela 9. Desvio (D), somatório dos quadrados dos resíduos relativos (SSRR), desvio padrão das diferenças (SD) e resíduo percentual (RP) dos modelos polinomiais segmentados e não segmentados para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste das árvores de *Tectona grandis* e o somatório das notas obtidas em cada altura relativa para o ajuste da classe 5, para cada modelo.

Modelo	Alturas relativas de medição (%)															
	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95
5° grau	D	3,912	0,658	-1,917	-2,031	-1,578	-1,286	1,077	1,611	0,717	-0,742	1,213	1,092	0,381	-1,203	0,506
	SD	1,675	0,861	0,949	0,884	0,751	0,621	0,703	0,750	0,491	0,535	0,658	0,480	0,655	0,735	0,492
	SSRR	0,092	0,030	0,051	0,046	0,037	0,028	0,034	0,045	0,024	0,039	0,072	0,042	0,096	0,101	0,203
	RP	0,934	0,146	-0,587	-0,638	-0,517	-0,437	0,369	0,612	0,292	-0,369	-0,652	0,041	0,631	0,200	-1,287
Hradetzky	D	0,090	0,157	-0,377	-0,120	0,151	0,043	0,230	-0,128	0,033	0,122	-0,195	0,157	0,227	-0,186	0,725
	SD	0,822	0,827	0,646	0,462	0,475	0,402	0,584	0,449	0,413	0,462	0,484	0,480	0,520	0,540	0,528
	SSRR	0,024	0,029	0,023	0,012	0,014	0,011	0,024	0,017	0,017	0,027	0,036	0,042	0,070	0,108	0,222
	RP	-0,001	0,013	-0,135	-0,050	0,033	0,000	0,063	-0,066	0,000	0,032	-0,130	0,050	0,087	-0,224	0,747
Max & Burkhardt	D	1,811	-0,684	-1,839	-0,722	0,661	1,460	0,669	-0,630	-0,821	-0,429	-0,315	0,402	0,684	0,295	-0,438
	SD	1,062	0,861	0,928	0,532	0,533	0,681	0,629	0,504	0,515	0,486	0,493	0,500	0,573	0,547	0,456
	SSRR	0,037	0,034	0,049	0,017	0,017	0,028	0,027	0,022	0,029	0,032	0,038	0,043	0,078	0,101	0,203
	RP	0,420	-0,211	-0,564	-0,235	0,195	0,466	0,221	-0,262	-0,364	-0,224	-0,192	0,187	0,375	0,136	-0,561
Clark et al	D	0,452	-0,543	-0,486	0,316	0,642	0,233	-0,398	-0,051	1,595	1,140	0,341	0,334	0,136	-0,395	0,541
	SD	0,831	0,844	0,655	0,476	0,529	0,417	0,543	0,546	0,750	0,506	0,522	0,529	0,436	0,622	0,600
	SSRR	0,024	0,032	0,024	0,012	0,016	0,012	0,022	0,025	0,060	0,032	0,041	0,050	0,048	0,140	0,318
	RP	0,088	-0,173	-0,167	0,085	0,189	0,062	-0,162	-0,035	0,684	0,532	0,164	0,167	0,061	-0,367	0,494
Notas																
5° grau	16	13	16	16	16	12	16	16	16	8	14	16	4	16	10	8
Hradetzky	5	4	4	4	4	4	6	6	6	4	4	4	8	8	8	14
Max e Burkhardt	12	15	12	12	12	16	12	12	10	12	9	9	14	12	6	4
Clark et al	7	8	8	8	8	8	6	8	8	16	14	11	14	4	16	14

Os perfis médios reais e estimados para a melhor equação são observados na Figura 2. A equação de Hradetzky foi a que propiciou a melhor estimativa do perfil médio ao longo de todas as alturas relativas. Já a equação do quinto grau mostrou tendências ao

estimar os diâmetros na porção inferior dos fustes, ora superestimando, ora subestimando. A equação de Clark et al. mostrou tendência a subestimar os diâmetros a 95% da altura total e a equação de Max & Burkhardt subestima os diâmetros a 5% da altura total.

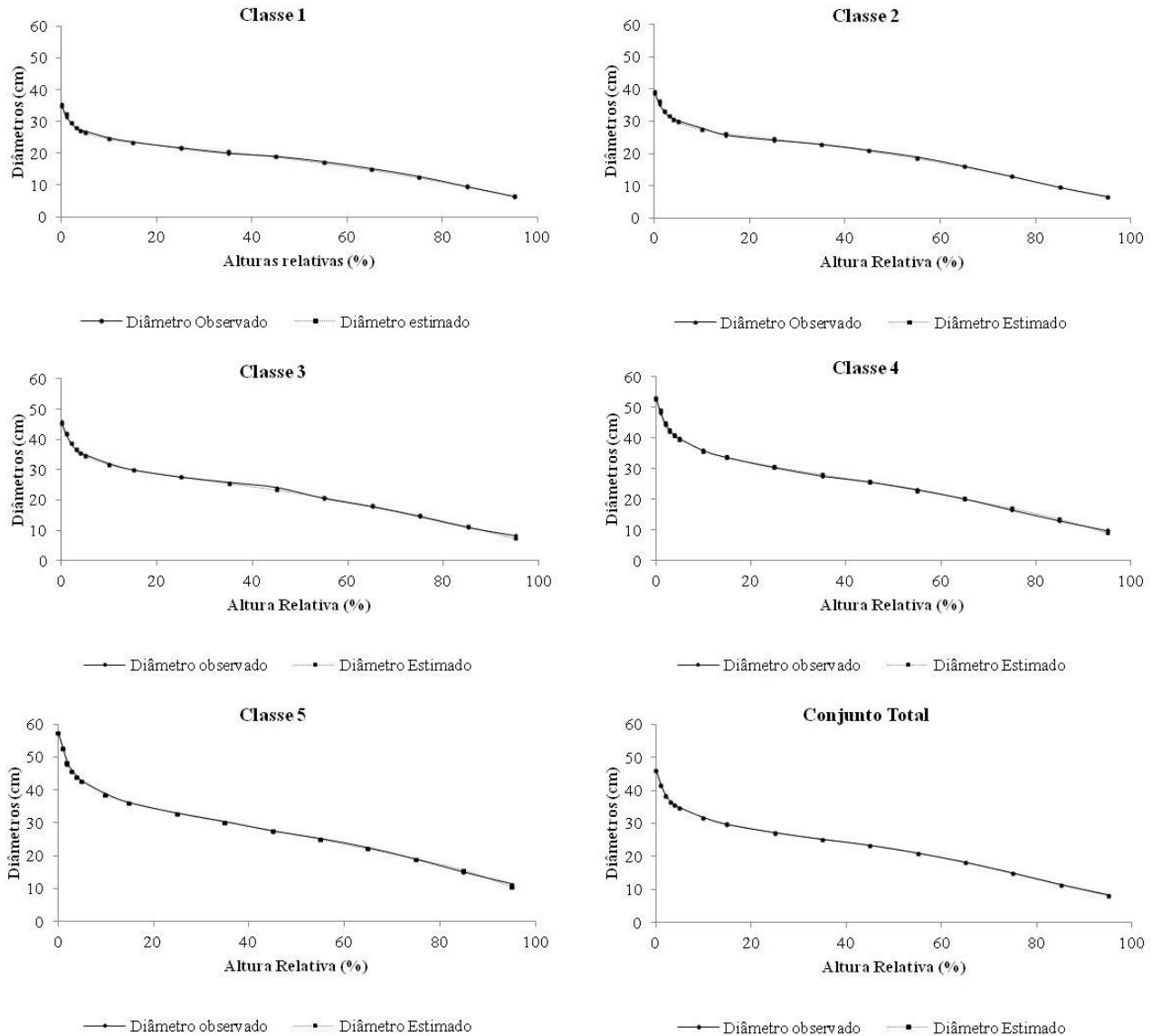


Figura 2. Perfis médios reais e estimados pelo modelo de Hradetzky (1976) para *Tectona grandis*.

Para o ajuste por classe diamétrica, a equação de Hradetzky foi a que melhor estimou os perfis médios para todas as classes, visto que as outras equações mostram tendências a subestimar ou superestimar o perfil em algumas alturas relativas. Trabalhos apresentados por Conceição (2004) e Souza (2005) com *Eucalyptus* spp., e os de Fischer et al. (1998), Assis et al. (2002) e Machado et al. (2004) com *Pinus* spp. concluíram que a equação de Hradetzky é a que melhor estima o perfil médio dos diâmetros ao longo do fuste.

Conclusões

O modelo que propicia as melhores equações para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste de *Tectona grandis*, para o conjunto total dos dados e para as classes de diâmetro, é o proposto por Hradetzky em 1976, exceto para Classe 3, DAP de 31,51 a 35,70 cm, onde o modelo de Clark et al. de 1991 é o mais adequado. Os modelos selecionados de Hradetzky e de Clark et al. descrevem com acurácia os diâmetros na base dos fustes onde se encontram as maiores irregularidades.

Referências

- ASSIS, A. L. **Avaliação de modelos polinomiais segmentados e não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda***. 2000. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; ACERBI JUNIOR, F. W.; OLIVEIRA, A. D. Comparação de modelos polinomiais segmentados e não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 20-40, 2001.
- ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; ACERBI JUNIOR, F. W.; OLIVEIRA, A. D. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 12, n. 1, p. 89-107, 2002.
- CAMPELO JÚNIOR, J. H.; CASEIRO, F. T.; PRIANTE FILHO, N.; BELLO, G. A. C.; MAITELLI, G. T.; ZANPARONI, C. A. G. P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 7, 1991, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL; Maringá: UEM, 1991. v. 1.
- CLARK III, A.; SOUTER, R. A.; SCHLAEGEL, B. E. **Stem profile equations for Southern tree species**. Asheville, N. C.: Southeastern Forest Experiment Station, 1991. 113 p.
- CONCEIÇÃO, M. B. **Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill Ex – Maiden**. 2004. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in shothern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 83, n. 1/2, p. 36-46, 1996.
- 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.
- FISCHER, F. **Eficiência dos modelos polinomiais e das razões de volume na estimativa volumétrica dos sortimentos e do perfil do fuste de *Pinus taeda***. 1997. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JUNIOR, F. W.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 11, n. 1, p. 167-188, 1998.
- HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation staitistischer abränger keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellen forshungs projekten)**. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146 p.
- LABAU, V. J. Tree height measurement indicator study: performance of laser height finder. FY 92 Forest Health Monitoring Western Pilot Operations Report. Pacific Northwestern Forest Research Station, Anchorage, Alaska. Departament of Agriculture, Forest Service, n. 15 p. 1991.
- LIU, C. J.; HUANG, X.; EICHEMBERGER, J. K. Using laser technology for measuring trees. In: MODERN METHODS OF ESTIMATING TREE AND LOG VOLUME. IUFRO Conference 14-16. 1993. **Anais...** West Virginia University Publication Services, 1993. 13 p.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO A. **Dendrometria**. 2 ed. Guarapuava: Ed da Unicentro, 2006. p. 316.
- MACHADO, S. A.; URBANO, U.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FIGUEIREDO, D. J. Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa* Shceide. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 48, p. 41-64, jan. 2004.
- MAX, T. A.; BURKHART, H. E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. **Forest Science**, Lawrence, v. 22, n. 3, p. 283-289, Sept. 1976.
- NICOLLETI, M. F. **Comparação de métodos não-destrutivos de cubagem de árvores em pé visando à determinação da biomassa**. 2011. 83 f. (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F. **Mensura forestal**. San José, CR: IICA, 1997. 586 p.
- QUEIROZ, D. **Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrella* Bentham em povoaamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR**. 2006. 134 f. (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; MAESTRE, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. *Cerne*, Lavras, MG, v. 4, n. 1, p. 100-122, 1998.

SCHÖEPFER, W. **Automatisierung des Massen, Sorten und Wertberechnung stenender Waldbestände** Schriftenreihe Bad. [S.l.]: Wurttt-Forstl., 1966. Não paginado.

SOUZA, A. N. Crescimento, produção e análise econômica de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. em sistemas agroflorestais. 2005. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SOUZA, C. A. M. **Avaliação de modelos de *Taper* não-segmentados e segmentados na estimação de altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp.** 2007. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

SOUZA, C. A. M. **Modelos de afilamento para *Pinus taeda* L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação.** 2009. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

