

EXATIDÃO DOS MODELOS POLINOMIAIS NÃO-SEGMENTADOS E DAS RAZÕES ENTRE VOLUMES PARA REPRESENTAR O PERFIL DO TRONCO DE *Pinus taeda*

ACCURACY OF NON-SEGMENTED POLYNOMIAL TAPER MODELS AND TAPER MODEL BASED ON VOLUME RATIO TO DESCRIBE THE STEM PROFILE OF *Pinus taeda*

Fernando Fischer¹ José Roberto S. Scolforo²
Fausto Weimar Acerbi Júnior³ José Márcio de Mello³ Romualdo Maestri⁴

RESUMO

O presente estudo teve como objetivos avaliar a: 1) exatidão das razões entre volumes compatíveis com sua respectiva função de afilamento; 2) os modelos polinomiais de potência inteira e dos modelos polinomiais de potências fracionárias e inteiras; 3) estudar a influência das classes de diâmetro, da produtividade dos sítios e das diferentes regiões na exatidão dos ajustes para representação do perfil do fuste de *Pinus taeda* na região nordeste do Paraná. Foram cubadas 304 árvores, utilizando-se do pentaprisma de Wheeler sobre tripé de base regulável com suunto acoplado. Nas proximidades de cada árvore cubada foi lançada uma parcela e medida a altura das árvores dominantes. Pôde-se efetuar assim a classificação de sítio no local de cada cubagem. Os diâmetros das árvores cubadas rigorosamente foram agrupados em classes, em intervalos de 5 cm. Para avaliação da exatidão das estimativas do perfil do fuste, foram utilizadas as seguintes estatísticas: coeficiente de determinação; erro padrão residual; desvio dos diâmetros em cada i-ésima posição no fuste; desvio padrão das diferenças dos diâmetros; soma do quadrado do resíduo relativo e porcentagem dos resíduos dos diâmetros. Verificou-se que o ajuste das equações de afilamento devem ser preferidos por sítio e classe de diâmetro, além da utilização do modelo polinomial de potências fracionárias e inteiras para as estimativas do perfil do fuste.

Palavras-chave: funções de afilamento, perfil do tronco, *Pinus taeda*.

ABSTRACT

The presento study has had as its objective: 1) to evaluate the accuracy of the ratio between volumes compatible with its respective taper function; 2) to evaluate the entire polynomial models and entire and fractionary polynomial models; 3) to study the influence of the diameter classes, site productivity and local effects on the accuracy of the estimates provided by the taper models along

1. Engenheiro Florestal, MSc., Pesquisador do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais, Av. Governador Valadares, 314, Bairro Centro, CEP 38610-000, Unaí (MG).
2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras (MG).
3. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Assistente do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras (MG).
4. Engenheiro Florestal, MSc., Pesquisador Sênior da Empresa Aracruz Celulose S.A., Rodovia Aracruz/Barra do Riacho, s/n, Caixa Postal 33.1011, CEP 29197-000, Aracruz (ES).

the stem profiles of *Pinus taeda* in the north-eastern region of Parana State. It were cubed 304 trees using a Wheeler's calypter on tripold with a regulated base and with a suunto hypsometer. Near each cubed tree, it was located a plot from which the height of the dominant trees was measured, allowing the accomplishment of site classification of each cubage local. The diameters of cubed trees were assorted in classes with 5 cm intervals. For evaluating the accuracy of the taper models in describing the stem profile, the following statistics were calculated for each measurement position along the stem: coefficient of determination; residual standard error deviation; deviation of the diameters in each position along the stem; standard deviations of the differences of the diameters; sum of square of the relative residue of diameters and the percentage of the residues of the diameters. The main result pointed out that the taper models must be fitted by site productivity and diameter classes, besides the use of the polynomial model of fractionaire and entire power.

Key words: taper functions, stem profile, *Pinus taeda*.

INTRODUÇÃO

Muitos pesquisadores têm envidado esforços para obter um modelo que descreva com precisão o perfil do fuste de árvores, na expectativa de estimar o diâmetro a qualquer altura ao longo do fuste e a altura até qualquer diâmetro especificado. Esse dado permite quantificar o número de toras com bitola e comprimentos pré-definidos ou os múltiplos produtos da madeira. Normalmente, por meio da integração das funções de afilamento obtém-se expressões que permitem calcular o volume desses múltiplos produtos da madeira e mesmo de toda a árvore.

O primeiro trabalho para descrever o perfil do tronco foi feito por HOJER em 1903 e, após este, muitos outros modelos foram propostos. No Brasil, as funções de afilamento têm sido usadas desde 1970, e vários modelos foram utilizados para descrever o perfil do tronco, podendo-se citar trabalhos como o de SCHNEIDER (1986), LIMA (1986) e JORGE e LARA (1993), utilizando as funções de afilamento para quantificar o sortimento para *Pinus elliottii*; FRIEDL (1989) que comparou 3 modelos de afilamento para estudar a dinâmica da forma dos fustes de árvores de *Araucaria angustifolia*; ROSOT (1989) que comparou as equações de volumes tradicionais com as funções de forma por classe diamétrica e genéricas na estimativa do volume com casca por hectare; GUIMARÃES e LEITE (1992) que desenvolveram um novo modelo para descrever o perfil do tronco; SOARES (1993) que utilizou as funções de forma na otimização dos sortimentos de produtos florestais; CAMPOS *et al.* (1993) que utilizaram as funções de afilamento para comparar a forma de diferentes clones de *Eucalyptus* em duas regiões; FIGUEIREDO FILHO *et al.* (1993) que converteram equações de volume em equações de forma compatíveis para *Pinus elliottii*; GARCIA *et al.* (1993) que utilizaram as funções de forma para análise do perfil de árvores em diferentes espaçamentos; ANGELO *et al.* (1995) que utilizaram a função spline para definir a forma do tronco de *Pinus* tropicais; FINGER *et al.* (1995) que utilizaram as funções de forma para descrever o perfil do fuste de *Eucalyptus dunnii*; FIGUEIREDO FILHO *et al.* (1996) que compararam modelos segmentados e não-segmentados para descrever o perfil de *Pinus taeda*; RIOS (1997), FISCHER (1997), SCOLFORO *et al.* (1998) e FERREIRA (1999) que compararam modelos segmentados, não-segmentados, modelos de potência fracionária e de razões entre volumes e testaram a influência

de fatores do meio nas estimativas volumétricas dos sortimentos e do perfil dos fustes de espécies florestais, dentre outros. De maneira geral, os trabalhos foram desenvolvidos buscando verificar, por meio de análise comparativa, qual modelo foi mais eficiente.

A aplicação dessas funções de afilamento é um poderoso instrumento para avaliar biológica e economicamente o maciço florestal e a resposta às práticas de manejo executadas, já que permite valorar de maneira detalhada quanto renderá o povoamento florestal.

O seu uso em escala comercial, no entanto, está condicionado à existência de softwares que tornem rápido o processamento do inventário florestal, com o objetivo de estimar os múltiplos produtos da madeira. Outro elemento de grande importância está em conhecer como a função de afilamento estima a base, o meio e o topo da árvore, principalmente para diferentes condições de ajuste.

Segundo FIGUEIREDO FILHO *et al.* (1996), o polinômio do 5º grau tem sido o mais usado para descrever o perfil de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* na região sul do Brasil. O uso cada vez mais diversificado da madeira de *Pinus* sp nesta região para celulose, madeira serrada e madeira laminada, em diferentes bitolas e comprimentos, estimula cada vez mais o uso das funções de afilamento. No entanto, é necessário identificar quais variáveis podem auxiliar a melhorar a eficiência dessas estimativas. Estabeleceu-se então como objetivos deste trabalho, avaliar a eficiência das razões entre volumes compatíveis com a função de afilamento, o modelo polinomial de quinto grau e o de potências fracionárias e inteiras, e a influência das classes de diâmetro, da produtividade dos sítios e das diferentes regiões na exatidão dos ajustes para representar o perfil do fuste de *Pinus taeda* na região nordeste do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

Base de dados

A área em estudo, de propriedade da Empresa Pisa Papel Imprensa S.A., está situada no município de Jaguariaíva, estado do Paraná, entre os paralelos 24° e 24° 30' de latitude sul e os meridianos 49° 30' e 50° de longitude oeste de Greenwich, com altitude variando entre 700 e 1.100 metros.

Foram cubadas rigorosamente 304 árvores de *Pinus taeda* distribuídas em cinco regiões da empresa, nas quais foram medidos os diâmetros nas alturas relativas de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 25, 35, ... , 95% da altura total da árvore bem como o diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e a altura total da árvore (H). Para as alturas relativas de 1, 2, 3, 4, 5%, e a 1,30 m do solo, os diâmetros foram medidos diretamente com fita métrica. Para as demais alturas, utilizou-se o penta-prisma de Wheeler sobre tripé de base regulável e com suunto acoplado, o que possibilitou a medição desses diâmetros com as árvores em pé.

Na proximidade de cada árvore cubada, foi instalada uma parcela de 15x20 m (300 m²), com objetivo de identificar a altura dominante. Foi mensurada a altura das três árvores mais grossas da

parcela, resultando na altura média das árvores dominantes. De posse de cada par de altura dominante-idade foi possível identificar o índice de sítio do local onde foi cubada cada árvore. A equação de sítio utilizada foi desenvolvida por SCOLFORO (1997) e apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 97,48% e erro padrão residual (Syx) igual a 1,187 m. A equação é:

$$Hd = 52,3735174 \cdot \left(\frac{S}{52,3735174} \right)^{\frac{\ln(1 - \exp(-0,0275482 \cdot I))}{\ln(1 - \exp(-0,0275482 \cdot I_{ref}))}}$$

A Tabela 1 apresenta a distribuição das árvores cubadas por classe diamétrica e índice de sítio.

TABELA 1: Distribuição das árvores por classe diamétrica nos diferentes sítios.

Classe diamétrica	I	II	III	IV	V
10 15	0	3	1	0	0
15 20	3	12	8	5	2
20 25	2	23	18	12	16
25 30	1	14	16	12	15
30 35	1	8	16	12	14
35 40	1	11	17	12	8
40 45	2	4	16	7	2
45 50	0	1	3	1	1
50 55	0	1	2	0	0
55 60	0	1	0	0	0
TOTAL	10	78	97	61	58

Distribuição diamétrica

Na Tabela 2, estão apresentadas por classe diamétrica e por região de estudo, a frequência das árvores cubadas rigorosamente.

TABELA 2: Distribuição das árvores por classe diamétrica e região.

Classe diamétrica	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	Região 5
10 15	0	0	2	0	2
15 20	3	5	8	2	12
20 25	15	13	13	12	18
25 30	13	14	15	11	5
30 35	12	10	12	12	5
35 40	13	9	8	13	6
40 45	6	7	4	9	5
45 50	0	2	2	1	1
50 55	0	2	1	0	0
55 60	0	1	0	0	0
TOTAL	62	63	65	60	54

Funções de afilamento

Utilizou-se o polinômio do 5º grau desenvolvido por SCHOPFER (1966), o polinômio de potências fracionárias e inteiras apresentado por HRADETZKY (1976) e também as razões entre volumes compatíveis, conforme apresentado por CLUTTER (1980), e AMATEIS e BURKHART (1987).

Nos modelos polinomiais, a variável dependente é expressa pela razão entre o diâmetro tomado ao longo do fuste (d_i) e o diâmetro a 1,30 m (D) ou diâmetro a 10% da altura ($D_{0,1}$), ou seja $\left(\frac{d_i}{D}\right)$. Já as variáveis independentes caracterizam-se pela razão entre a altura tomada ao longo do fuste (h_i) e a altura total (H) elevada a potência π_i , ou seja $\left(\frac{h_i^{\pi_i}}{H^{\pi_i}}\right)$.

No caso do polinômio do 5º grau, essas potências são 1; 2; 3; 4 e 5.

O modelo de potências fracionárias e inteiras deve ser construído para cada situação de trabalho. Neste estudo, foi utilizado o método “Stepwise” em que foram consideradas, no modelo cheio, as seguintes potências: 0,005; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20 e 25. A expectativa é que as potências (π_i) inteiras unitárias representem melhor a seção intermediária da árvore, as potências com grandezas de dezenas a base da árvore, e as potências fracionárias o topo da árvore.

No caso do modelo de CLUTTER (1980), o fundamento é que uma equação de volume comercial de topo variável define a função de afilamento, considerando o modelo de Schumacher e Hall ($V = \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2} + e_i$) e a razão entre volumes [$V_C = V(1 - \alpha_0 d^{\alpha_1} D^{\alpha_2})$]. Aplicando o conceito de integral e derivada, obtém-se a função de afilamento que propicia obter a altura correspondente a qualquer diâmetro e o diâmetro a qualquer altura, como mostrado na Tabela 3.

No caso do modelo de AMATEIS e BURKHART (1987), são utilizadas duas razões entre volumes, sendo que uma das razões [$V_C = V \left(1 - \alpha_0 \frac{d^{\alpha_1}}{D^{\alpha_2}}\right)$] é função do diâmetro e a outra

[$V_C = V \left(1 - \beta_0 \frac{(H-h)^{\beta_1}}{H^{\beta_2}}\right)$] é função da altura. Igualando as funções $\alpha_0 \frac{d^{\alpha_1}}{D^{\alpha_2}} = \beta_0 \frac{(H-h)^{\beta_1}}{H^{\beta_2}}$ e isolando o d_i ,

tem-se a função de afilamento que propicia obter o diâmetro a qualquer altura. Se for isolada a variável altura, obtém-se a função que propicia obter a altura correspondente a qualquer diâmetro.

Na Tabela 3, estão apresentadas as formas de ajustes e as funções de afilamento que propiciam implementar o estudo em questão. O ajuste das funções de afilamento polinomiais foi efetuado por classe diamétrica para cada região considerada neste estudo e também para cada classe de sítio. Já o ajuste das razões entre volumes e a equação de volume total foram efetuadas para região e também por classe de sítio.

TABELA 3: Formas de ajuste e de uso dos polinômios e razões de volume.

Modelo	Forma de:	Fórmula
Polinômio do 5º grau	Ajuste	$\frac{d_i}{D} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i^2}{H^2} \right) + \beta_3 \left(\frac{h_i^3}{H^3} \right) + \beta_4 \left(\frac{h_i^4}{H^4} \right) + \beta_5 \left(\frac{h_i^5}{H^5} \right)$
	Uso	$d_i = D \left[\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i^2}{H^2} \right) + \beta_3 \left(\frac{h_i^3}{H^3} \right) + \beta_4 \left(\frac{h_i^4}{H^4} \right) + \beta_5 \left(\frac{h_i^5}{H^5} \right) \right]$
Polinômio de potências fracionárias e inteiras	Ajuste	$\frac{d_i}{D} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i^{p1}}{H^{p1}} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i^{p2}}{H^{p2}} \right) + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i^{pn}}{H^{pn}} \right)$
	Uso	$d_i = D \left[\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i^{p1}}{H^{p1}} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i^{p2}}{H^{p2}} \right) + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i^{pn}}{H^{pn}} \right) \right]$
Razão entre volumes de Clutter	Ajuste	$V_c = V (1 - \alpha_0 d^{\alpha_1} D^{\alpha_2})$
	Uso	$d = \left\{ K \frac{1}{\beta_0 D^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2}} \cdot \frac{1}{\alpha_0} \cdot D^{-\alpha_2} \left[\frac{\alpha_1 - 2}{\alpha_1} \right] (H - h) \right\}^{\frac{1}{(\alpha_0 - 2)}}$ ou $h = H - d^{\alpha_1 - 2} \cdot K^{-1} \cdot \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2} \cdot \alpha_0 D^{\alpha_2} \left[\frac{\alpha_1}{\alpha_1 - 2} \right]$
Razão entre volumes de Amateis e Burkhardt	Ajuste	$V_c = V \left(1 - \alpha_0 \frac{d^{\alpha_1}}{D^{\alpha_2}} \right)$ $V_c = V \left(1 - \beta_0 \frac{(H - h)^{\beta_1}}{H^{\beta_2}} \right)$
	Uso	$d = \left[\frac{\beta_0 D^{\alpha_2} (H - h)^{\beta_1}}{\alpha_0 H^{\beta_2}} \right]^{\frac{1}{\alpha_1}}$ ou $h = H - \left[\frac{\alpha_0 H^{\beta_2} d^{\alpha_1}}{\beta_0 \cdot D^{\alpha_2}} \right]^{\frac{1}{\beta_1}}$

Sendo: V = volume total da árvore; V_c = volume correspondente a qualquer diâmetro mínimo pré-estabelecido ao longo do fuste; H = altura total da árvore; h_i = altura correspondente a qualquer diâmetro (d_i) ao longo do fuste, no caso dos modelos polinomiais e ao diâmetro mínimo ao longo do fuste previamente estabelecido, no caso das razões de volume; d_i = diâmetro correspondente a qualquer altura (h_i) ao longo do fuste, no caso dos modelos polinomiais e às alturas vinculadas aos diâmetros mínimos comerciais previamente estabelecidos, no caso das razões de volume; α_i e β_i = parâmetros a serem estimados.

Exatidão dos modelos de afilamento para representar o perfil do tronco, por classe de diâmetro, região e sítio

Para avaliar a exatidão dessas estimativas, foram adotados os critérios utilizados em PARRESOL *et al.* (1987), FIGUEIREDO FILHO *et al.* (1996) e SCOLFORO *et al.* (1998), conforme apresentado na Tabela 4. Foi utilizado um número semelhante de repetições que será de cinco árvores por classe de diâmetro, em cada região e sítio.

Em consequência do pequeno número de repetições nas classes diamétricas de 10 a 15, 15 a 20, 40 a 45, 45 a 50, 50 a 55, 55 a 60, estas foram eliminadas neste estudo.

TABELA 4: Estatísticas utilizadas para avaliação das estimativas dos diâmetros.

Estimativa	Fórmula
Desvio (D)	$(\sum \text{Diff}_i)/N$
Desvio padrão das diferenças (SD)	$[\sum (\text{Diff}_i - D)^2 / (N-1)]^{0.5}$
Soma do quadrado do resíduo relativo (SSRR)	$\sum (\text{Diff}_i / d_i)^2$
Porcentagem dos resíduos (RP)	$\sum (\text{Diff}_i / d_i) * 100 / N$

Em que: $\text{Diff}_i = (d_i - de_i)$ é o desvio dos diâmetros em cada *i*-ésima posição no fuste (1%, 2%, ... , 95%); d_i = diâmetro da árvore, na posição *i* no fuste; de_i = diâmetro da árvore estimado para a posição *i* no fuste; N = número de árvores.

Com base nestas estatísticas, foi elaborado um ranking para expressar de forma sumarizada a exatidão dos quatro modelos de afilamento testados. Esse ranking foi feito para cada posição relativa em que se efetuou a cubagem rigorosa e também por classe diamétrica, considerando as quatro estatísticas da Tabela 4. Foi atribuída a nota 1 à equação que apresentou maior exatidão e assim sucessivamente, até a nota 4 para a equação que apresentou menor exatidão. No caso de mesmo valor em qualquer das estatísticas, para diferentes equações estas receberão a mesma nota.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ajuste do polinômio de potências fracionárias e inteiras por classe diamétrica, região e sítio

As Tabelas 5 e 6 apresentam o ajuste para esses polinômios, respectivamente, para diferentes classes de sítio e regiões. Pode-se observar que os primeiros parâmetros são potências fracionárias e os parâmetros finais dos modelos são potências inteiras, geralmente com grandeza de dezena. Os modelos com quatro coeficientes apresentaram, na maioria dos casos, a potência 0,005 no segundo parâmetro, potências decimais para o terceiro parâmetro, unitárias para o quarto e de dezenas no último parâmetro. Nesses casos, as potências fracionárias estão moldando melhor a ponta da árvore e as potências maiores a base da árvore. Pôde-se constatar que, para todas as situações testadas, as medidas de precisão estão dentro do espectro de ajustes precisos.

Por meio das medidas de precisão não foram detectadas diferenças entre as equações ajustadas para as diversas classes diamétricas. Quanto aos ajustes realizados por sítio e classe diamétrica, e região e classe diamétrica, verificou-se que os menores e maiores valores de coeficiente de determinação foram respectivamente 94,9 e 99,4%; e 93,6 e 98,8%. Juntamente com o erro padrão residual, pôde-se inferir que há uma ligeira superioridade dos modelos ajustados por sítio em relação às equações obtidas por região em consequência provavelmente, do maior controle das

fontes de variação da variável volume.

TABELA 5: Parâmetros estimados e medidas de precisão do polinômio de potência fracionária e inteira por classe de diâmetro e por sítio.

S	CLD (cm)	P/ C	Parâmetros estimados								R ²	Syx
			β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6			
II	15 20	P		0,005	0,01	0,5	0,7	3	10			
		C	1,35865	28,09798	-28,92649	1,49566	-1,68955	-0,32113	0,91601	97,5	0,0467	
	20 25	P		0,005	0,5	0,6	0,7	4	10			
		C	1,35173	0,30110	-19,90846	37,13755	-18,54327	-0,6621	1,22302	97,3	0,0508	
	25 30	P		0,005	0,01	0,6	4	10				
		C	1,29232	13,66334	-14,05647	-0,44580	-0,87933	1,22495		96,8	0,0548	
	30 35	P		0,005	0,5	10	15					
		C	1,34488	-0,13397	-0,84765	-2,7877	4,48199			97,0	0,0529	
	35 40	P		0,005	0,3	5	10					
		C	1,26673	0,08493	-0,83895	-1,12667	1,02467			98,1	0,0408	
	40 45	P		0,005	0,5	0,6	2					
		C	1,33280	0,25242	-9,44728	9,28210	-1,46446			98,3	0,0405	
III	15 20	P		0,5	3							
		C	1,30814	-0,92740	-0,17720					95,4	0,0612	
	20 25	P		0,005	0,06	0,6	3	10				
		C	1,28912	1,16649	-1,57761	-0,37797	-0,64520	0,93303		95,6	0,0615	
	25 30	P		0,005	0,01	1	5					
		C	1,27835	14,73885	-15,19333	-0,50575	-0,26530			97,7	0,0446	
	30 35	P		0,005	0,3	5	10					
		C	1,31752	0,06122	-0,85365	-1,02847	0,82673			97,4	0,048	
	35 40	P		0,005	0,2	4	10	20	25			
		C	1,28798	0,28202	-0,99707	-0,90670	1,07736	-4,46712	4,74722	97,9	0,0433	
	40 45	P		0,005	0,2	0,3	0,7	4	10			
		C	1,26463	1,38212	-8,59846	8,13193	-1,70846	-0,83277	0,61998	97,7	0,0458	
IV	15 20	P		0,4	4							
		C	1,39705	-0,99823	-0,20731					96,5	0,0579	
	20 25	P		0,4	5	10						
		C	1,32274	-0,86223	-0,86293	1,06299				97,2	0,0485	
	25 30	P		0,005	0,3	0,4	0,7	5				
		C	1,33175	1,10031	-15,59416	18,52482	-5,10074	-0,22113		98,3	0,0388	
	30 35	P		0,005	0,2	0,6	1	5				
		C	1,31812	0,85796	-2,84394	3,26568	-2,35021	-0,26552		97,1	0,0512	
	35 40	P		0,005	0,2	4	5					
		C	1,26321	0,24047	-0,85064	-1,79405	1,13322			98,1	0,0395	
	40 45	P		0,5	0,6	5	10					
		C	1,35209	-3,04101	2,28350	-1,59701	1,64839			94,9	0,0743	
V	15 20	P		0,5								
		C	1,36622	-1,03628						98,6	0,0358	
	20 25	P		0,4	5	10						
		C	1,32419	-0,84830	-0,95944	1,09523				96,5	0,0543	
	25 30	P		0,4	1	5	25					
		C	1,32888	-0,92493	0,11542	-0,85590	5,95237			98,1	0,0413	
	30 35	P		0,005	0,3	5	10					
		C	1,30035	0,10635	-0,87794	-1,22562	1,15233			97,6	0,0477	
	35 40	P		0,4	5							
		C	1,29850	-0,82603	-0,64228					98	0,0426	
	40 45	P		0,005	0,02	1	5	25				
		C	1,25621	4,82308	-5,28019	-0,20437	-1,27062	8,84420		99,4	0,0234	

Em que: S = Classes de sítio; CLD = Classes de diâmetro; P = Potência; C = Coeficiente.

TABELA 6: Parâmetros estimados e medidas de precisão do polinômio de potência fracionária e inteira por classe de diâmetro e por região.

R	CLD (cm)	P/ C	Parâmetros estimados								R ²	Syx
			β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6			
1	15 20	P		0,4	5						98,1	0,042
		C	1,36974	-0,99538	-0,13684							
	20 25	P		0,005	0,01	0,6	0,5	5	10		97,0	0,049
		C	1,29440	28,22982	-29,09063	-3,08218	3,01034	-0,45615	0,54750			
	25 30	P		0,005	0,01	0,5	0,6	4	5		97,8	0,041
		C	1,26663	40,74125	-42,02229	5,82576	-5,46071	0,10649	-	0,39353		
	30 35	P		0,005	0,01	0,2	0,7	5			98,2	0,034
		C	1,26128	72,77773	-76,09311	3,76866	-1,32512	-0,41769				
	35 40	P		0,005	0,3	5					97,6	0,044
		C	1,27283	0,09811	-0,82695	-0,73295						
	40 45	P		0,005	0,4	0,5	0,7	5	10		98,4	0,037
		C	1,25350	0,55537	-14,61717	19,61877	-6,31274	-1,41646	1,56867			
2	15 20	P		0,5						96,6	0,0532	
		C	1,32189	-1,03361								
	20 25	P		0,005	0,01	0,6	3	5			97,8	0,043
		C	1,28193	14,83978	-15,26079	-0,28629	-1,42619	1,28959				
	25 30	P		0,005	0,2	0,5	1	4	15		97,7	0,0453
		C	1,28542	0,52570	-1,88337	1,36408	-1,04408	-0,25397	0,86905			
	30 35	P		0,2	0,5	5	20				97,5	0,0471
		C	1,31992	-0,34002	-0,54102	-0,56901	0,69242					
	35 40	P		0,3	0,6	5	15				97,9	0,0434
		C	1,26959	-0,46916	-0,37506	-0,67713	0,65161					
	40 45	P		0,005	0,01	4	5				93,6	0,08
		C	1,23918	20,94162	-21,47465	-3,11928	2,61393					
3	15 20	P		0,005	0,2	0,6	4	5		96,6	0,0541	
		C	1,32362	0,51321	-1,44239	0,30586	-5,15998	5,48307				
	20 25	P		0,5	1	3	15			96,4	0,0583	
		C	1,31547	-1,59976	1,19345	-1,61956	14,95960					
	25 30	P		0,005	0,01	0,3	0,6	5	25		97,7	0,0461
		C	1,29942	45,13724	-46,84223	2,52066	-1,72575	-0,73471	7,03981			
	30 35	P		0,005	0,01	0,3	2	5	15		98,2	0,0412
		C	1,30545	28,02768	-28,86725	0,34990	-0,64813	-0,36173	0,79620			
	35 40	P		0,005	0,01	4	5	10	25		98,8	0,0325
		C	1,26930	19,98036	-20,54010	-4,51801	4,98054	-1,81337	1,66415			
	40 45	P		0,005	0,2	5	10				98,7	0,0357
		C	1,32075	0,19351	-0,90048	-1,74490	1,76620					
4	15 20	P		0,4	10					97,5	0,0522	
		C	1,45979	-1,06857	-2,16114							
	20 25	P		0,4	5	10						

Continua ...

TABELA 6: Continuação ...

R	CLD (cm)	P/ C	Parâmetros estimados								R ²	Syx
			β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6			
4	25 30	C	1,32513	-0,87736	-0,84185	0,88859					97,6	0,0447
		P		0,005	0,3	5	10					
	30 35	C	1,33638	0,09490	-0,93398	-1,16469	1,23253				98,3	0,04
		P		0,005	0,01	3	5					
	35 40	C	1,33281	22,37937	-23,03295	-1,20054	0,62540				98,3	0,0416
		P		0,005	0,4	0,8	1	5	10			
	40 45	C	1,28417	0,20168	-2,52294	5,31669	-3,88987	-0,85972	0,73677		98,5	0,0368
		P		0,005	0,01	0,3	5	15				
C	1,31140	11,62333	-11,93089	-0,42131	-1,40515	2,49657				98,2	0,0423	
5	15 20	P		0,005	0,1	0,5	3	5				
		C	1,36704	0,95489	-1,62319	-0,06627	-1,19393	1,06462			97,3	0,0477
	20 25	P		0,005	0,5	0,7	1	15				
		C	1,37321	0,30316	-8,29157	12,7970	-6,10070	0,84758			96,9	0,0544
	25 30	P		0,4	10							
		C	1,37981	-1,01369	-0,80823						96,8	0,057
	30 35	P		0,4	0,5	5						
		C	1,41644	-2,00139	1,03858	-0,48754					95,1	0,0703
35 40	P		0,4	2	4	15	25					
	C	1,30905	-0,90914	0,61660	-1,71640	3,29209	-3,00669			97,1	0,0532	
40 45	P		0,5	0,6	5	10						
	C	1,32531	-3,09304	2,38364	-1,58599	1,64211				97,3	0,0509	

Em que: R = Região; CLD = Classes de diâmetro; P = Potência; C = Coeficiente.

Polinômio de 5º grau

Mediante a análise das medidas de precisão, verificou-se, nas Tabelas 7 e 8, que todos os modelos apresentam ajustes satisfatórios. É importante observar que as estatísticas tradicionais ou medidas de precisão apresentadas nas Tabelas 7 e 8 não retratam o desempenho das funções de afilamento, considerando que são médias que não consideram a posição da estimativa ao longo dos fustes. Portanto, servem apenas como um indicativo da correlação existentes entre as variáveis envolvidas nos modelos testados. Nesse contexto, entre os polinômios, o menor coeficiente de determinação nas regiões foi de 93,5% e o maior de 98,1%; para os sítios o menor foi de 94,6% e o maior 99,0%. Verificou-se por meio desses dados, juntamente com o erro padrão residual, uma ligeira superioridade no ajuste por sítio, em relação aos ajustes por região.

TABELA 7: Parâmetros estimados e medidas de precisão do polinômio do 5º grau por classe de diâmetro e por sítio.

S	CLD (cm)	Parâmetros estimados							R ²	Syx
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5			
I	15 20	1,31770	-5,39165	26,44546	-67,35236	76,43094	-31,56774	96,9	0,0511	
	20 25	1,30698	-5,56646	27,17428	-66,03874	70,64478	-27,52905	96,8	0,0549	
II	25 30	1,24343	-4,94079	23,41133	-56,33864	59,80093	-23,20535	96,3	0,0588	
	30 35	1,24095	-5,66650	30,20954	-79,06375	92,18947	-39,56691	95,4	0,0654	

Continua ...

TABELA 7: Continuação ...

S	CLD (cm)	Parâmetros estimados							R ²	Syx
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5			
II	35 40	1,20225	-4,59156	20,47675	-44,18974	41,33877	-14,10766	97,3	0,0484	
	40 45	1,27905	-6,76849	36,49065	-89,84488	97,71952	-39,39822	97,7	0,0479	
III	15 20	1,29092	-5,18638	26,19238	-66,33118	73,81466	-29,81934	95,5	0,0612	
	20 25	1,25443	-4,76507	22,65010	-55,52240	59,93213	-23,506300	95,4	0,0630	
	25 30	1,22552	-4,93013	25,19409	-65,18744	75,22046	-31,96124	97,2	0,0495	
	30 35	1,24793	-5,64903	30,53238	-79,07905	90,81680	-38,50182	96,6	0,0547	
	35 40	1,21108	-4,02500	13,38945	-17,48409	2,55458	5,00745	95,5	0,0637	
	40 45	1,20346	-4,55066	21,61636	-48,57913	46,69421	-16,32903	97,0	0,0524	
IV	15 20	1,34445	-6,63240	34,37428	-85,66833	94,82491	-38,45331	96,4	0,0597	
	20 25	1,27441	-5,69238	30,54216	-79,12898	90,24163	-37,60163	96,9	0,0513	
	25 30	1,26999	-5,80113	31,32526	-80,40033	91,04286	-37,93907	97,5	0,0473	
	30 35	1,25772	-5,7358	32,16274	-85,07113	99,03664	-42,39418	96,3	0,0576	
	35 40	1,21837	-4,70008	24,56249	-61,69163	68,26714	-28,11570	97,7	0,0433	
	40 45	1,28425	-5,94458	30,29979	-73,02179	77,78199	-30,76483	94,6	0,0764	
V	15 20	1,35554	-6,49678	38,13987	-111,08391	144,6057	-69,06667	99,0	0,0326	
	20 25	1,27084	-5,27429	27,22446	-69,23847	77,89500	-32,20617	96,1	0,0575	
	25 30	1,26300	-5,23965	26,47442	-66,18782	73,98809	-30,73612	97,5	0,0475	
	30 35	1,24431	-4,76593	21,97108	-49,16444	47,68862	-16,87994	97,0	0,0533	
	35 40	1,24446	-4,93878	24,48276	-61,34544	69,63937	-29,69490	97,9	0,0444	
	40 45	1,19472	-3,84751	17,01557	-36,36726	33,74122	-11,88964	98,7	0,0362	

Em que: S = Classes de sítio; CLD = Classes de diâmetro.

TABELA 8: Parâmetros estimados e medidas de precisão do polinômio do 5º grau por classe de diâmetro e por região.

R	CLD (cm)	Parâmetros estimados							R ²	Syx
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5			
1	15 20	1,30982	-6,12951	30,01702	-73,00982	80,23661	-32,57719	98,1	0,043	
	20 25	1,24909	-5,07885	24,41553	-60,04343	66,54944	-27,27288	96,5	0,054	
	25 30	1,22431	-4,98548	25,88248	-67,01064	77,69547	-33,30287	97,3	0,046	
	30 35	1,20518	-4,57938	24,41228	-64,05771	74,54750	-32,09112	97,5	0,044	
	35 40	1,22857	-5,18264	28,56081	-76,19731	90,47826	-39,75219	97,2	0,047	
	40 45	1,22102	-5,22384	26,70358	-63,75783	66,59111	-25,78177	98,0	0,041	
2	15 20	1,28467	-5,02425	24,42467	-63,18803	73,28536	-31,01101	96,5	0,056	
	20 25	1,24029	-4,83142	24,54140	-63,65991	72,05670	-29,51001	97,4	0,046	
	25 30	1,22941	-5,02303	25,11766	-63,45898	70,94355	-29,01677	97,1	0,050	
	30 35	1,21722	-4,81908	21,50333	-47,17869	45,83246	-16,48380	96,0	0,060	
	35 40	1,20088	-4,44366	19,72046	-43,56375	42,19196	-15,04988	97,3	0,049	
	40 45	1,21330	-4,14548	18,76878	-41,80241	39,91351	-13,84345	93,5	0,081	
3	15 20	1,30660	-5,45294	29,13069	-78,41966	93,24454	-40,55934	96,4	0,056	
	20 25	1,28307	-5,03621	25,38813	-63,53378	68,81671	-26,90792	96,2	0,060	
	25 30	1,24302	-4,62072	22,01238	-52,83758	56,06442	-22,04328	97,0	0,052	
	30 35	1,25751	-5,23931	27,93353	-71,24270	79,84484	-33,03035	97,6	0,047	
	35 40	1,20147	-3,56487	10,85930	-10,36674	-7,56086	10,38066	97,2	0,049	
	40 45	1,23397	-5,54588	30,70704	-79,08239	89,04368	-36,99037	97,5	0,049	
4	15 20	1,43327	-9,05279	58,62532	-176,78797	236,7333	-116,14314	97,9	0,051	

Continua ...

TABELA 8: Continuação ...

R	CLD (cm)	Parâmetros estimados							R ²	Syx
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5			
4	20 25	1,27275	-5,64085	29,89296	-77,33829	88,57081	-37,25055	97,0	0,050	
	25 30	1,27323	-5,70508	29,70447	-75,28823	84,62023	-35,07348	97,6	0,048	
	30 35	1,26889	-6,03493	32,99073	-85,49482	97,30211	-40,63670	97,5	0,050	
	35 40	1,22329	-4,86555	22,37025	-49,16218	47,19812	-16,75006	97,8	0,044	
	40 45	1,24004	-5,66507	29,63965	-72,84870	78,95705	-31,81597	97,4	0,051	
5	15 20	1,31893	-5,53190	27,92046	-71,14551	80,60524	-33,34095	96,6	0,053	
	20 25	1,32967	-5,74575	28,02408	-67,54133	72,07413	-28,19348	96,5	0,058	
	25 30	1,31843	-6,54838	34,93596	-90,39291	104,4968	-44,52080	96,6	0,060	
	30 35	1,32020	-7,32020	40,31923	-104,67384	120,5014	-50,90979	93,9	0,079	
	35 40	1,23661	-4,66258	19,61719	-38,48883	31,05368	-8,48533	96,7	0,057	
	40 45	1,25872	-5,96724	31,70667	-78,70090	86,13255	-34,87725	97,0	0,054	

Em que: R = Região; CLD = Classes de diâmetro.

Ajuste das razões entre volumes

Com relação à equação de volume total, pode-se observar, na Tabela 9, que as medidas de precisão do modelo de Schumacher e Hall não diferem demasiadamente, quando o controle da base de dados foi por sítio ou por região.

TABELA 9: Parâmetros estimados e medidas de precisão do modelo de Clutter para equação de volume total, para cinco regiões e quatro sítios.

Local	Variável	Parâmetros estimados			
		β_0	β_1	β_2	R ²
Região	1	0,00003457	1,87286322	1,16406418	92,7
	2	0,00003080	2,20580733	0,80767302	98,8
	3	0,00007232	1,77864158	1,03175808	99,0
	4	0,00004801	2,12116087	0,75666920	98,0
	5	0,00004237	1,82482019	1,14855720	99,0
Sítio	II	0,00003000	2,2200000	0,79630000	99,2
	III	0,00003400	1,9400000	1,07630000	97,8
	IV	0,00005223	1,9309273	0,96694538	97,7
	V	0,00003018	2,0815069	0,96718861	98,1

Com relação às razões entre volumes, pode-se observar, nas Tabelas 10, 11 e 12, que suas estatísticas são bastante satisfatórias. Como esperado, o coeficiente de determinação do modelo de CLUTTER (1980) e o de AMATEIS e BURKHART (1987) são ligeiramente superiores por sítio em relação aos ajustes por região, pelos mesmos motivos já apresentados para os modelos polinomiais.

A alta correlação obtida dá-se em razão dos modelos estabelecerem relação entre os volumes comerciais e o volume total. Em qualquer circunstância, a correlação entre o volume total e o parcial, para uma mesma árvore, sempre será muito forte, haja vista o controle implícito das fontes

de variação que afetam tais variáveis.

TABELA 10: Parâmetros estimados e medidas de precisão do modelo de Clutter para a equação de volume comercial, por região e sítio.

Local	Variável	Parâmetros estimados			
		β_0	β_1	β_2	R^2
Região	1	0,05224703	2,94257248	-2,21220236	96,8
	2	3,50539009	3,84897242	-4,19623205	99,4
	3	0,07200000	4,22000000	-3,48348000	99,4
	4	0,72706735	3,96187775	-3,86125391	99,2
	5	0,61814774	4,15286182	-3,98621905	99,4
Sítio	II	4,72200000	3,83000000	-4,24348000	99,6
	III	0,47047407	3,97817867	-3,76120094	98,9
	IV	0,86265984	3,99354696	-3,96332183	99,4
	V	0,88129020	3,98555430	-3,96523964	99,5

TABELA 11: Parâmetros estimados e medidas de precisão do modelo de Amateis e Burkhart para a equação de volume comercial até qualquer diâmetro superior, por região e sítio.

Local	Variável	Parâmetros estimados			
		α_0	α_1	α_2	R^2
Região	1	0,04057758	2,94539917	2,14498236	96,8
	2	3,26305296	3,83403479	4,16321877	99,4
	3	0,06688087	4,12945097	3,37642295	99,4
	4	0,65681530	3,92354572	3,79790868	99,2
	5	0,61422400	4,15680634	3,98816380	99,4
Sítio	II	4,51196067	3,75775867	4,16553505	99,6
	III	0,43156407	3,92957047	3,69252133	98,9
	IV	0,85805739	3,99256958	3,96097529	99,4
	V	0,97702462	3,94769997	3,95863483	99,5

TABELA 12: Parâmetros estimados e medidas de precisão do modelo de Amateis e Burkhart para a equação de volume comercial até qualquer altura, por região e sítio.

Local	Variável	Parâmetros estimados			
		α_0	α_1	α_2	R^2
Região	1	1,33252431	2,36016740	2,45190411	99,9
	2	0,93364184	2,43184478	2,40997143	99,9
	3	0,88711387	2,50208405	2,46460713	99,9
	4	0,97149097	2,47859407	2,47262518	99,8
	5	0,29204921	2,44442510	2,05788739	99,9
Sítio	II	0,77560255	2,41577120	2,33909862	99,9
	III	0,54708470	2,44919028	2,26366851	99,8
	IV	1,23536801	2,51688338	2,57636456	99,8
	V	0,46275954	2,40258073	2,14885607	99,8

Exatidão das equações de afilamento para representar o perfil do tronco para as classes de diâmetro, nas regiões e sítios

Nas Tabelas 13 e 14, são apresentadas, para as quatro equações estudadas, as estatísticas por altura relativa para as árvores compreendidas na menor (20 |– 24,9 cm) e na maior (35 |– 39,9 cm) classe diamétrica respectivamente, para a região 1. Esses resultados permitiram inferir sobre a superioridade dos modelos polinomiais em relação às razões entre volumes, conforme detectado pela análise de desvio padrão das diferenças (SD), assim como da porcentagem dos resíduos (RP) ao longo de todas as alturas relativas. Pode-se notar ainda que, para todas as classes diamétricas desta região, o polinômio de potências fracionárias e inteiras foi superior aos demais modelos testados, seguido de perto pelo desempenho também eficiente do polinômio do 5º grau.

Das estatísticas mostradas nas Tabelas 13 e 14 e também para as outras duas classes diamétricas foi obtido o Ranking, para a região 1, conforme mostrado na Tabela 15 e para o sítio II na Tabela 16. Exemplificando: para a região 1 e para a classe diamétrica de 35 a 40 cm (Tabela 14), o Modelo 2, dentre os quatro analisados, apresentou para a altura relativa de 0% a primeira afirmação para a estatística D, a segunda para a estatística SD, a primeira para a estatística SSRR e a primeira para a estatística RP e recebeu então a nota 5, conforme se observa na Tabela 15. Na segunda posição, com nota 7, ficou o Modelo 1, na terceira posição, com nota 12, ficou o Modelo 4 e, em último lugar, ficou o Modelo 3 com nota 16. Dessa maneira, na altura relativa de 0%, o Modelo 2 foi o que apresentou estimativa mais acurada do fuste, para a classe diamétrica de 35 a 40 cm na região 1.

TABELA 13: Estatísticas para as estimativas dos perfis da árvore de *Pinus taeda* na classe de 20 a 25 cm de diâmetro, para região 1, para os modelos testados com seus respectivos parâmetros: D = desvio; SD = desvio padrão das diferenças; SSRR = soma do quadrado das diferenças; RP = porcentagem dos resíduos.

Mod.	Est.	Alturas relativas (%)																Média	
		0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95		
1	D	0,56	-0,28	-0,40	-0,93	-0,66	-0,49	0,53	0,20	0,24	-0,27	-0,09	0,24	0,03	-1,16	-0,23	0,00	-0,18	
	SD	0,79	0,74	0,25	0,22	0,28	0,12	0,07	0,14	0,09	0,21	0,66	1,30	0,90	0,65	0,42	0,00	0,46	
	SSRR	0,008	0,009	0,004	0,01	0,008	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,008	0,02	0,058	0,057	0,19	0,06	0,00	0,03
	RP	1,68	-1,27	-1,59	-3,78	-2,78	-2,07	2,33	0,95	1,25	-1,66	-1,01	0,64	-0,80	-14,48	-3,27	0,00	-1,72	
2	D	-0,49	-0,43	0,13	-0,31	-0,15	-0,15	0,09	-0,42	0,20	0,12	0,08	-0,029	-0,21	-0,81	-0,39	0,00	-0,18	
	SD	0,76	0,74	0,25	0,22	0,28	0,12	0,07	0,14	0,09	0,21	0,66	1,30	0,90	0,64	0,42	0,00	0,45	
	SSRR	0,009	0,01	0,003	0,004	0,004	0,002	0,001	0,005	0,002	0,006	0,02	0,06	0,06	0,13	0,06	0,00	0,03	
	RP	-1,87	-1,80	0,42	-1,34	-0,72	-0,68	0,37	-2,08	1,03	0,66	0,10	-1,41	-2,89	-10,49	-4,92	0,00	-1,71	
3	D	-0,31	-1,98	-2,80	-3,93	-4,18	-4,44	-4,57	-4,87	-3,21	-1,93	-0,57	0,64	1,58	1,91	3,57	0,00	-1,67	
	SD	1,58	1,21	0,48	0,40	0,37	0,16	0,24	0,15	0,07	0,12	0,60	1,33	0,81	0,52	0,36	0,00	0,56	
	SSRR	0,01	0,04	0,06	0,13	0,16	0,18	0,22	0,29	0,14	0,07	0,03	0,06	0,12	0,25	0,87	0,00	0,17	
	RP	-1,40	-7,48	-10,68	-15,83	-17,21	-18,64	-20,72	-23,98	-17,04	-11,43	-4,14	3,60	12,92	20,9	37,27	0,00	-4,92	
4	D	0,20	-1,53	-2,44	-3,66	-3,98	-4,32	-4,84	-5,51	-4,51	-3,81	-2,92	-2,04	-1,28	-0,89	1,15	0,00	-2,69	
	SD	1,05	0,90	0,29	0,25	0,30	0,12	0,09	0,13	0,08	0,19	0,64	1,30	0,87	0,60	0,39	0,00	0,48	
	SSRR	0,01	0,03	0,05	0,11	0,14	0,17	0,24	0,37	0,29	0,26	0,22	0,22	0,14	0,14	0,11	0,00	0,17	
	RP	0,41	-5,85	-9,31	-14,70	-16,38	-18,13	-21,88	-27,06	-23,91	-22,47	-19,52	-16,53	-12,40	-11,48	11,45	0,00	-13,84	

Em que: 1 = Polinômio de quinto grau; 2 = Polinômio de potências fracionárias e inteiras; 3 = Modelo de Clutter; 4 = Modelo de Amateis e Burkhart.

TABELA 14. Estatísticas para as estimativas dos perfis da árvore de *Pinus taeda* na classe de 35 a 40 cm de diâmetro, para região 1, para os modelos testados com seus respectivos parâmetros: D = desvio; SD = desvio padrão das diferenças; SSRR = soma do quadrado das diferenças; RP = porcentagem dos resíduos.

Mod.	Est.	Alturas relativas (%)																Média
		0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95	
1	D	3,27	1,70	0,11	-0,35	-0,05	-0,08	1,48	1,09	0,51	-0,27	-0,18	0,26	0,03	-1,34	-0,56	0,00	0,38
	SD	3,32	2,82	0,70	0,50	0,25	0,53	0,42	0,20	0,88	1,44	1,31	2,04	3,57	2,44	0,22	0,00	1,38
	SSRR	0,03	0,02	0,003	0,003	0,001	0,003	0,01	0,007	0,008	0,016	0,02	0,03	0,10	0,17	0,05	0,00	0,03
	RP	6,60	3,60	0,24	-0,92	-0,10	-0,22	4,11	3,24	1,40	-1,30	-1,13	0,47	-1,68	-10,65	-6,92	0,00	-0,22
2	D	1,65	2,39	0,93	0,24	0,24	-0,12	0,49	0,27	1,16	0,91	0,07	-0,59	-0,68	-0,69	-0,64	0,00	0,38
	SD	3,36	2,81	0,68	0,49	0,24	0,53	0,41	0,19	0,90	1,47	1,32	2,03	3,56	2,43	0,22	0,00	1,38
	SSRR	0,02	0,02	0,005	0,003	0,001	-0,003	0,004	0,001	0,012	0,02	0,01	0,04	0,12	0,12	0,06	0,00	0,03
	RP	3,24	5,13	2,22	0,59	0,63	-0,32	1,32	0,77	3,51	2,81	-0,16	-3,31	-5,32	-6,39	-7,88	0,00	-0,21
3	D	13,14	10,1	7,32	5,80	5,22	4,44	4,07	3,74	5,45	6,61	7,30	7,88	8,25	7,28	4,11	0,00	6,72
	SD	5,49	4,07	0,98	1,46	1,01	0,86	2,05	1,75	3,03	3,11	3,36	2,90	4,10	2,45	0,39	0,00	2,47
	SSRR	0,38	0,26	0,16	0,11	0,09	0,07	0,07	0,07	0,16	0,27	0,41	0,59	0,86	1,11	1,08	0,00	0,38
	RP	26,98	22,35	17,51	14,47	13,39	11,72	11,29	11,05	17,05	22,50	27,66	33,80	40,6	46,5	46,26	0,00	24,2
4	D	7,33	4,28	1,43	-0,14	-0,75	-1,58	-2,14	-2,63	-1,16	-0,12	0,58	1,35	2,14	1,87	-0,14	0,00	0,69
	SD	3,39	2,77	0,37	0,41	0,09	0,27	0,56	0,34	1,26	1,77	1,83	2,21	3,71	2,38	0,26	0,00	1,44
	SSRR	0,12	0,05	0,007	0,002	0,002	0,01	0,023	0,035	0,019	0,018	0,022	0,044	0,13	0,13	0,034	0,00	0,043
	RP	14,99	9,33	3,39	-0,41	-1,95	-4,22	-6,15	-8,01	-4,02	-0,88	1,72	5,17	9,14	10,64	-2,28	0,00	1,76

Em que: 1 = Polinômio de quinto grau; 2 = Polinômio de potências fracionárias e inteiras; 3 = Modelo de Clutter; 4 = Modelo de Amateis e Burkhart.

TABELA 15: Ranking para as equações de afilamento por classe diamétrica, para a região 1.

H (%)	Polinômio do 5º Grau (1)				PPFI (2)				Clutter (3)				Amateis e Burkhart (4)			
	Classes Diamétricas (cm)															
	20-25	25-30	30-35	35-40	20-25	25-30	30-35	35-40	20-25	25-30	30-35	35-40	20-25	25-30	30-35	35-40
0	10	7	8	7	10	14	4	5	11	12	16	16	8	7	12	12
1	4	8	6	6	7	11	5	7	15	6	15	15	11	13	11	9
2	7	10	7	6	4	6	5	8	15	10	16	16	11	14	12	10
3	7	9	7	11	4	5	5	8	16	13	13	15	12	13	15	4
4	7	10	7	6	4	6	5	7	15	11	13	15	11	13	15	9
5	7	5	7	5	4	8	4	7	14	12	11	14	10	13	13	9
10	7	7	7	8	4	4	5	4	12	11	13	16	14	13	15	12
15	5	8	7	8	8	6	4	4	12	13	12	16	13	13	14	12
25	9	5	4	4	6	7	6	8	10	9	14	15	14	12	10	11
35	9	5	7	6	6	8	4	11	10	12	15	16	14	13	11	7
45	8	6	8	7	7	9	4	5	10	14	14	16	14	10	9	12
55	5	11	6	5	6	8	5	7	10	15	15	16	12	4	11	12
65	6	10	5	5	9	6	6	7	12	15	15	16	12	7	11	12
75	13	4	4	11	6	7	7	5	13	15	15	16	8	11	11	8
85	6	4	6	7	8	7	10	10	12	15	15	15	10	11	6	5

Em que: H = Altura; PPFI (2) = Polinômio de Potências Fracionárias e Inteiras (2).

Observando as estatísticas dos valores médios dos desvios (D), desvio padrão das diferenças (SD), soma do quadrado das diferenças (SSRR) e porcentagem dos resíduos (RP) para a equação de afilamento selecionada como a de melhor desempenho por região administrativa (Tabela 15) e por

sítio (Tabela 16) pode-se observar menores valores dessas estatísticas, quando o controle da cubagem rigorosa foi por sítio. Esse mesmo comportamento foi observado, quando comparadas as estatísticas geradas pelos ajustes quando o controle da cubagem rigorosa foi por sítio em relação ao controle por região administrativa.

TABELA 16: Ranking para as equações de afilamento por classe diamétrica, para o sítio II.

H (%)	Polinômio do 5º Grau (1)				PPFI (2)				Clutter (3)				Amateis e Burkhart (4)			
	Classes Diamétricas (cm)															
	20-25	25-30	30-35	35-40	20-25	25-30	30-35	35-40	20-25	25-30	30-35	35-40	20-25	25-30	30-35	35-40
0	7	7	9	8	7	5	4	4	14	13	11	13	12	14	16	15
1	5	4	8	4	10	6	4	7	15	12	13	12	10	12	15	14
2	6	4	8	7	8	7	4	5	14	12	13	13	9	13	15	15
3	8	5	7	8	6	6	4	4	16	13	12	13	10	13	14	15
4	8	7	7	8	4	4	4	4	15	13	12	13	13	13	14	15
5	10	5	7	8	5	6	4	4	15	12	12	13	10	13	13	15
10	10	7	9	11	5	5	5	6	15	13	10	10	10	14	13	7
15	8	8	13	11	4	5	4	6	16	11	13	13	12	13	9	10
25	4	8	7	6	8	6	4	9	15	13	13	13	12	5	9	11
35	8	9	10	12	4	7	4	7	11	14	14	13	13	4	7	8
45	9	9	9	11	6	5	6	5	8	13	12	12	13	6	10	9
55	9	6	7	7	10	7	9	9	8	13	12	11	10	9	10	6
65	5	8	7	5	8	7	12	9	11	12	13	13	13	10	8	12
75	6	9	12	4	6	6	7	6	14	13	13	14	14	11	7	10
85		4	4	8		11	7	4		16	14	16		9	10	12

Em que: H = Altura; PPFI (2) = Polinômio de Potências Fracionárias e Inteiras (2).

Utilizando a Tabela 15 e os Rankings, gerados para as outras 4 regiões de estudo estruturou-se a Tabela 17. Da Tabela 16 e os demais Rankings gerados para as outras três classes de sítio estruturou-se a Tabela 18, respectivamente para as diferentes regiões e sítios onde são mostradas as equações que apresentaram as estatísticas mais acuradas dos diâmetros nas diferentes posições do fuste, de 0 a 85% da altura, por classe diamétrica.

A equação de potências fracionárias e inteiras apresentou estimativas mais acuradas em um maior número de casos para as cinco regiões e para as quatro classes de sítio estudadas. Exceção é feita para a primeira e última classe diamétrica nas regiões 2 e 4 respectivamente, e para a primeira classe diamétrica do sítio III. É importante ressaltar que nestas três condições a equação de potências fracionárias e inteiras foi a segunda mais acurada, comprovando a estabilidade dessa equação em estimar o diâmetro ao longo do fuste nas diferentes classes diamétricas, para as diferentes regiões e classes de sítio.

O polinômio do 5º grau apresentou-se como a segunda equação com estimativas mais acuradas para as cinco regiões e para as quatro classes de sítio estudadas. Exceção é feita para a primeira e última classe diamétrica nas regiões 2 e 4 respectivamente, e para a primeira classe diamétrica do sítio III onde essa equação se apresentou com estimativas mais acuradas em um maior número de casos, superando o polinômio de potências fracionárias e inteiras.

Para a segunda e última classe diamétrica na região 2, para a terceira classe diamétrica na região 5 e para a terceira e segunda classe diamétrica nos sítios III e IV respectivamente, foi a

equação de afilamento de Amateis e Burkhart que se apresentou como a segunda equação com estimativas mais acuradas. Para a maioria das outras situações a equação de afilamento de Amateis e Burkhart apresentou-se como a terceira colocada em relação à exatidão das estimativas, deixando o modelo de Clutter em quarto lugar.

TABELA 17: Equações com medidas mais acuradas dos diâmetros ao longo do fuste por classe diamétrica e região.

H	Regiões																			
	1				2				3				4				5			
	Valor Central (cm)																			
(%)	22,5	27,5	32,5	37,5	22,5	27,5	32,5	37,5	22,5	27,5	32,5	37,5	22,5	27,5	32,5	37,5	22,5	27,5	32,5	37,5
8	4	1-4	2	2	1-2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1-2	2	2	2
1	1	3	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1-2
2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1
3	2	2	2	4	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
4	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	3	2	2	2	2	1	2	2	2	2
5	2	1	2	1	1-4	2	2	2	2	2	2	2	1	2-3	2	2	2	1	3	2
10	2	2	2	2	1	2-4	2	2	1	4	2	4	2	2	2	2	2	3	3	2
15	1	2	2	2	1	2	2	4	1	1	2	2	4	2	2	1	2	2	2-4	2-4
25	2	1	1	1	3	2	1	4	2	2	1-2	4	2	1-4	1	1	2	4	4	1
35	2	1	2	1	3	1-2	1	1	2-4	2	2	1	2	4	1	4	2	4	4	2
45	2	1	2	2	2	1-3-4	1	2	2	2	2	2	2	2	2	4	1	1-4	2	1-2-4
55	1	4	2	1	2	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	4	2-4	2	1-2-4	4
65	1	2	1	1	2	4	2	3	1	2	1	1	1	1	1	1	4	1	2-4	2
75	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	4	1	2
85	1	1	1-4	4	-	2	1	2	-	1	2	2	1	1	1	2	1	1-2	4	2
	2(9)	2(6)	2(11)	2(5)	1(8)	2(12)	2(9)	2(11)	2(11)	2(10)	2(11)	2(7)	2(9)	2(9)	2(10)	1(8)	2(11)	2(7)	2(8)	2(12)
	1(5)	1(7)	1(4)	1(8)	2(5)	4(3)	1(6)	4(2)	1(3)	1(4)	1(4)	1(6)	1(5)	1(5)	1(5)	2(4)	1(4)	1(5)	4(6)	1(4)
	4(1)	4(2)	4(1)	4(2)	3(2)	1(2)		3(1)	4(1)	4(1)	3(1)	4(2)	4(1)	4(2)		4(3)	4(2)	4(4)	3(2)	4(3)
					3(1)	4(1)	3(2)	1(1)						3(1)			3(1)	1(3)		

Em que: () = Número de casos de estimativa mais acuradas em primeiro lugar pelas equações 1, 2, 3 e 4 por classe de diâmetro; H = Altura

Nas Figuras 1, 2, 3 e 4, encontram-se representados os perfis médios das árvores em relação

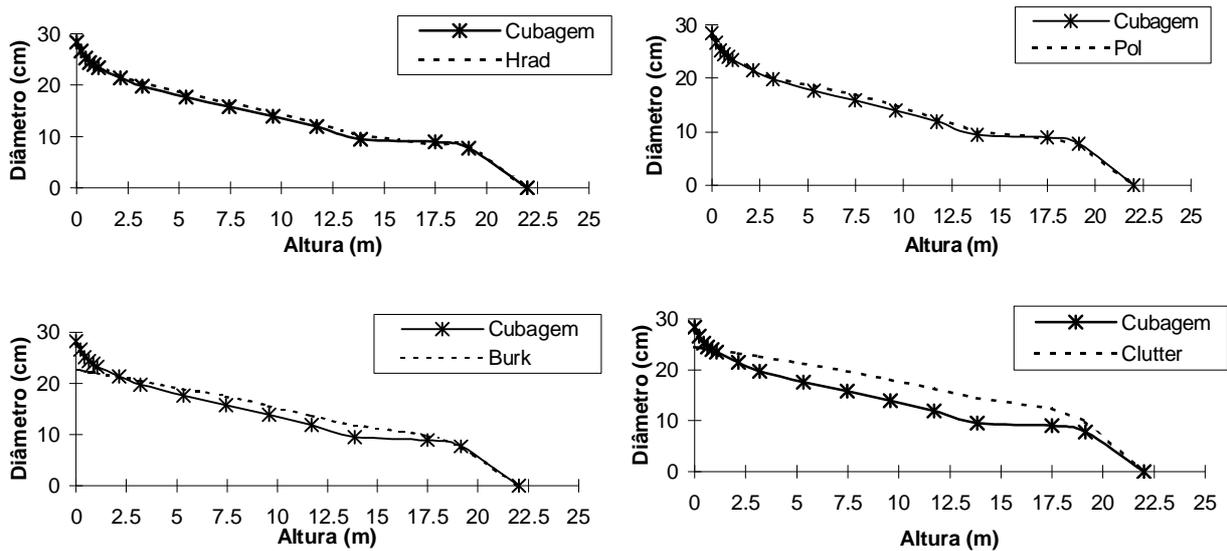


FIGURA 1: Perfil da árvore de *Pinus taeda* para a classe de diâmetro de 20 a 25 cm, para a classe de sítio II.

TABELA 18: Equações com medidas mais acuradas dos diâmetros ao longo do fuste por classe diamétrica e sítio.

H (%)	Classes de Sítio															
	II				III				IV				V			
	Valor Central da Classe (cm)															
	22,5	27,5	32,5	37,5	22,5	27,5	32,5	37,5	22,5	27,5	32,5	37,5	22,5	27,5	32,5	37,5
0	1-2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2-3	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1
3	2	1	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	1	1	3	2
4	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2
5	2	1	2	2	2-3	2	3	3	1	1	3	3	3	3	3	2
10	2	2	2	2	1	4	2	1	4	3	2	2	2	2	2	1
15	2	2	2	2	1	1	4	1	2	2	2	2	2	2	2	1
25	1	4	2	1	2	2	4	2	1	1	4	1	1	1	1	2
35	2	4	2	2	2	2	1	2	2	2	4	1	2	2	1	2
45	2	2	2	2	2	1	1-4	2	2	4	4	2	2	2	2	2-4
55	3	1	1	4	1	2	4	4	1	2-4	1	2	2	2	1	1
65	1	2	1	1	1	2	1	4	1	2	1-4	2	1	1	1	4
75	1-2	2	2-4	1	1	2	2-4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
85		1	1	2	1	1-2	1	2	4	1	1	1	1	1	2	1
	2(9)	2(7)	2(12)	2(10)	1(7)	2(11)	2(5)	2(9)	2(7)	2(9)	2(8)	2(11)	2(8)	2(8)	2(7)	2(8)
	1(6)	1(6)	1(3)	1(4)	2(6)	1(3)	4(5)	1(3)	1(6)	4(2)	1(3)	1(3)	1(6)	1(6)	1(5)	1(6)
	3(1)	4(2)	4(1)	4(1)	3(4)	3(1)	1(4)	4(2)	4(2)	3(1)	4(4)	3(1)	3(1)	3(1)	3(3)	4(2)
						4(1)	3(3)	3(1)			3(1)					

Em que: () = Número de casos de estimativa mais acuradas em primeiro lugar pelas equações 1, 2, 3 e 4 por classe

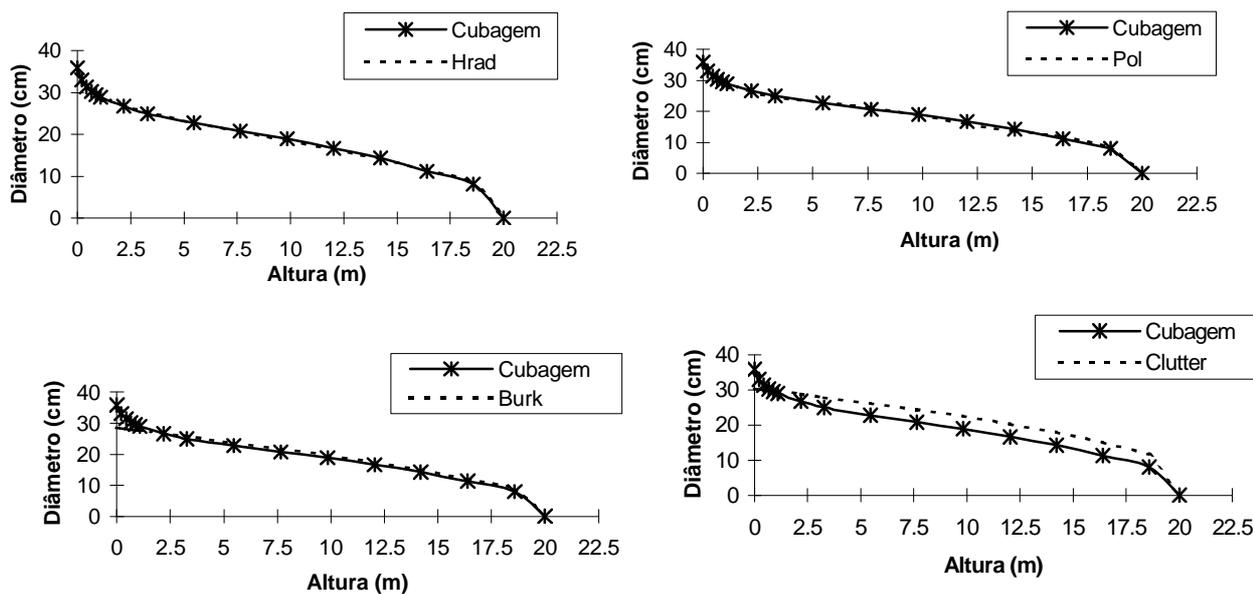


FIGURA 2: Perfil da árvore de *Pinus taeda* para a classe de diâmetro de 25 a 30 cm, para a classe de sítio II.

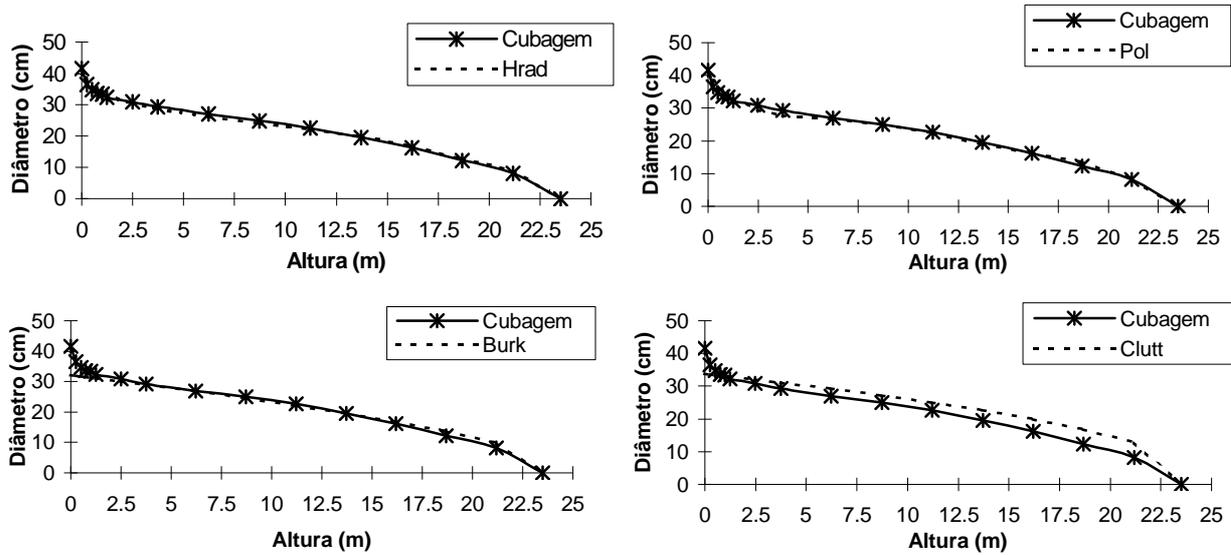


FIGURA 3: Perfil da árvore de *Pinus taeda* para a classe de diâmetro de 30 a 35 cm, para a classe de sítio II.

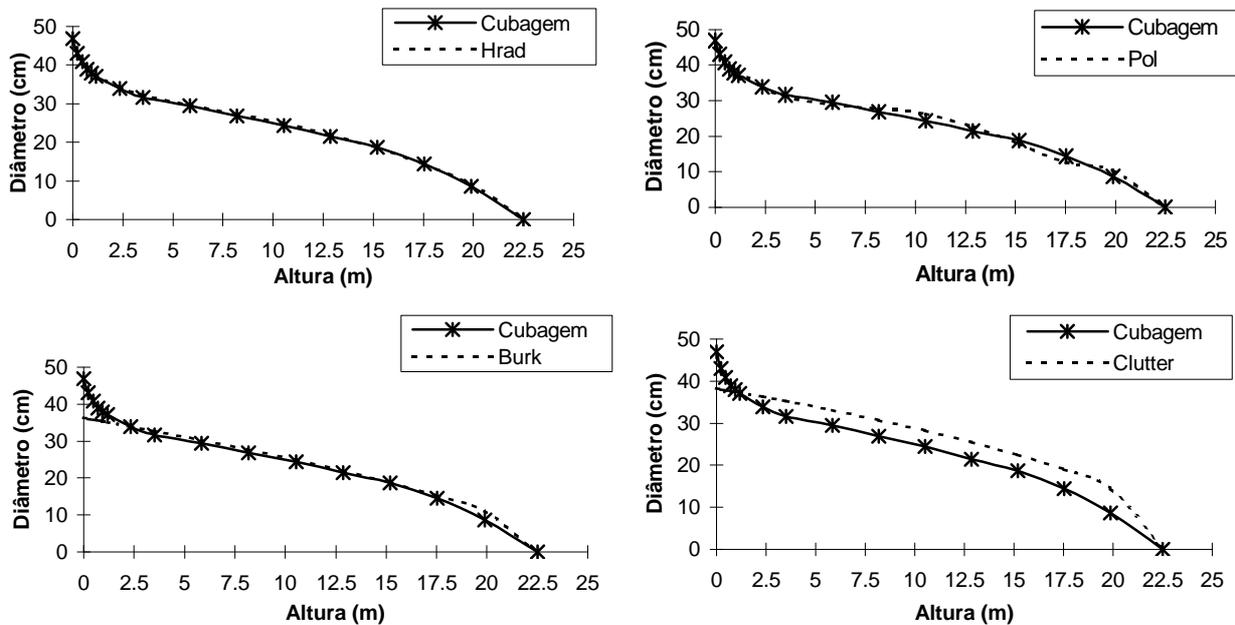


FIGURA 4: Perfil da árvore de *Pinus taeda* para a classe de diâmetro de 35 a 40 cm, para a classe de sítio II.

as estimativas dos diâmetros, pelos diferentes procedimentos para a classe de sítio II. Esses perfis corroboraram os fatos discutidos anteriormente, permitindo visualizar a superioridade dos modelos polinomiais, destacando o modelo de potência fracionária e inteiras, em relação as frações de

afilamento resultantes das razões entre volumes.

CONCLUSÕES

Verificou-se, em todos os casos, que os polinômios foram superiores às razões volumétricas para estimar o perfil dos troncos, com destaque especial para o modelo de potência fracionária.

Para as razões volumétricas, o modelo de melhor desempenho foi o de Amateis e Burkhart (1987), embora tenha apresentado tendências nas estimativas dos diâmetros da base (até 3 a 5% da altura) e do topo (acima de 75% da altura), na maioria dos casos estudados.

As regiões, sítios e classes diamétricas influenciaram na estimativa do perfil do tronco.

Os modelos ajustados por sítio tiveram melhores estimativas dos diâmetros ao longo do fuste.

Para o presente conjunto de dados, deve-se usar o modelo polinomial de potência fracionária, com ajuste por sítio e por classe diamétrica, para descrever o perfil do tronco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMATEIS, R.L.; BURKHART, H.E. Cubic-foot volume equations for loblolly pine trees in cutover site-prepared plantations. **Southern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v. 11, n. 4, p.190-192, Nov.1987.
- ANGELO, H.; CASTRO, L.H.R.; HOSOKAWA, R.T.; *et al.* Análise de componentes principais e função spline para definir a forma do tronco de *Pinus tropicais*. **Floresta**, Curitiba, v.25, n. 1-2, p. 55-67, jun./dez. 1995.
- ASSIS, A.L.de. **Acuracidade na estimativa de volumes comerciais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. Lavras: UFLA, 1998. 183p. Monografia.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G.; OLIVEIRA, I.A. Variação da forma do tronco de clones de *Eucalyptus*, em duas regiões. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. v.2, p. 559-565.
- CAMPOS, J.C.C.; ZUNCONI, J.M.; RIBEIRO, J.C. Teste de um novo modelo para expressar “taper”. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: o uso de funções de forma de tronco em estudos de volumetria de espécies florestais, 5., 1982, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/URPFCS, 1982. p. 47-50.
- CLUTTER, J.L. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. **Forest Science**, Washington, v. 26, n. 1, p.117-120, Mar. 1980.
- FERREIRA, S.O. **Estudo da forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana***. 1999. 132p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B.E.; HITCH, K.L. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 83, p.36-46, 1996.

- FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, C.G. de; MOURA, J.B. de et al. Conversão de equações de volume em equações de forma compatíveis para *Pinus elliottii*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, v.2, p. 501-503, 1993.
- FINGER, C.A.G.; ZANON, M.L.B.; SCHNEIDER, P.R.; et al. Funções de forma para *Eucalyptus dunnii* Maiden, implantados na depressão central e encosta sudeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.3, p. 399-403, 1995.
- FRIEDL, R.A. **Dinâmica da forma dos fustes em povoamentos plantados de *Araucária angustifolia* (Bert) O. Ktze.** 1989. 166p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- 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. 167p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- GARCIA, S.R.L.; LEITE, H.G.; YARED, J.A.G. Análise do perfil do tronco de Morototó (*Didymopanax morototoni*) em função do espaçamento. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. v.2, p. 504-509.
- GUIMARÃES, D.P.; LEITE, H.G. Um novo modelo para descrever o perfil do tronco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 16, n.2, p.170-180, maio/ago. 1992.
- HOJER, A.G. **Tallers och granenes tillræxt.** Stocklan: Biran till Fr. Loven. Om vara barrskogar. 1903.
- HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statistischer abränger keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellen forschung projekten).** Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, Helf 76, 1976. 146p. (Abt. Biometric und Informatik, 21).
- JORGE, L.A.B.; LARA, H.A. Programa de sortimento de madeira serrada de povoamentos de *Pinus elliottii* com alternativas de produtos padronizados. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. v.2, p. 539-544.
- LIMA, F.S. **Análise de funções “taper” destinadas à avaliação de multiprodutos de árvores de *Pinus elliottii*.** 1986. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- PARRESOL, B.R.; HOTVEDT, J.E.; CAO, Q.V. Volume and taper prediction system for bald cypress. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.17, p.250-259, 1987.
- RIOS, M.S. **A eficiência das funções polinomiais, da função spline cúbica e razões de volume para representar o perfil da árvore e estimar os sortimentos de *Pinus elliottii*.** 1997. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ROSOT, M.A.D. **Estudo comparativo de métodos para avaliação volumétrica por unidade de área em povoamento de *Pinus taeda* L.** 1989. 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Curitiba, Curitiba.
- SCHNEIDER, P.R. Forma de tronco e sortimentos para *Pinus elliottii* Engelm, da floresta nacional de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. **Acta Forest Brasil**, Curitiba, n.1, p. 43-64, 1986.

- SCHOEPPER, W. **Automatisierung des Massen, Sorten und Wertberechnung stenender Waldbestände** **Schriftenreihe Bad.** [S.l.]: Wurt-Forstl., 1966. n.p.
- SCOLFORO, J.R.S. **Modelo de prognose com simulador de desbaste para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 75p.
- SCOLFORO, J.R.S.; RIOS, M.S.; OLIVEIRA, A.D. et al. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. **Revista Cerne**, Lavras, v.4, n.1, p. 100-122, 1998.
- SOARES, J.B. **Otimização do sortimento de produtos florestais a partir de funções de distribuição diamétrica e funções de forma.** 1993. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.