

Comparação de Métodos de Estimativa de Volume para *Pinus oocarpa* em Diferentes Idades e Diferentes Regimes de Desbastes

*Sebastião do Amaral Machado*¹

*Edilson Urbano*²

*Marcio Barbosa da Conceição*³

RESUMO

Esta pesquisa visa comparar os volumes dos fustes de *P. oocarpa* obtidos pelos métodos de Smalian, fator de forma, equação de volume e função de afilamento. Foram usadas 1100 árvores distribuídas em 11 regimes de manejo pertencentes a Duraflora S. A. de Agudos – SP. As árvores foram cubadas e os seus volumes com e sem casca foram estimados pelos métodos citados. Para verificar a homogeneidade de variâncias, aplicou-se o Teste de Bartlett. A análise de variância mostrou pela comparação do valor de F e nível de significância, a não existência de diferenças significativas entre os métodos de estimativa de volume para os 11 regimes de manejo com e sem casca, ao nível de 95% de probabilidade, confirmando a hipótese de que os volumes médios estimados através dos métodos estudados são estatisticamente iguais entre si.

Palavras chave: Volume por Smalian, equação de volume, equação de afilamento, fator de forma.

¹ Prof. Sênior do Departamento de Ciências Florestais - UFPR. PQ 1A do CNPq. sammac@floresta.ufpr.br.

² Engenheiro Florestal, Mestrando Engenharia Florestal - UFPR. edurbano@floresta.ufpr.br

³ Engenheiro Florestal, Mestre em Engenharia Florestal - UFPR. marciobc@floresta.ufpr.br

Comparison of volume estimate methods for *Pinus oocarpa* at different ages and thinning regimes

ABSTRACT

This research aims to compare stem volumes of *P. oocarpa* obtained by the methods of Smalian, form factor, volume equation and taper function. The used data came from 1100 trees distributed in 11 management regimes, belonging to Duraflora S. A. , Agudos - SP. The trees were cubed and calculated their volumes, outside and inside bark, for the mentioned methods. It was used the Test of Bartlett and variance analysis for the comparison of means. The variance analysis showed that significant difference doesn't exist among the methods for the 11 management regimes outside and inside bark at the level of 95 % of probability.

Keywords: Volume by Smalian, volume equation, taper equation, form factor.

1. INTRODUÇÃO

Com os diversos fins que vêm sendo dado à madeira, atualmente, faz-se necessário o melhor conhecimento de fatores e condições que afetam a produção e influenciam no seu destino final. Por este motivo, é de suma importância o conhecimento dos métodos de manejo, efeito da idade, tratamentos silviculturais e suas implicações sobre o volume das árvores. A existência de 11 diferentes regimes de manejo, nos quais se variam a idade e o número de desbastes em plantações de *Pinus oocarpa* da companhia Duraflora, localizada no município de Agudos, em São Paulo, possibilitou a cubagem de 100 árvores por regime de manejo, as quais forneceram conjuntos de dados apropriados para cálculo dos volumes reais, tanto com casca como sem casca para esta espécie.

A variável volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal em uma região, sendo que o volume

individual fornece um ponto de partida para avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais. Vários métodos foram desenvolvidos para determinação de volumes individuais das árvores, entre eles o fator de forma, que é uma razão entre volumes, sendo utilizado para corrigir o volume do cilindro para o volume da árvore. O fator de forma é influenciado pela espécie, sítio, espaçamento, desbaste e idade.

O volume de árvore tem sido estimado com certa facilidade e acuracidade, empregando-se equações de volume, ajustadas quase sempre a partir de medições do diâmetro à altura do peito e da altura total (FIGUEIREDO FILHO et al. 1993).

Segundo Ahrens & Holbert⁴ (1981), citado por Fischer (1997), uma função de afilamento (taper function) é uma descrição matemática do perfil longitudinal de um tronco, e seu volume pode ser obtido por integração dessa função. Assim, definido um modelo matemático do perfil do fuste, pode-se determinar o volume de madeira entre quaisquer pontos ao longo do tronco.

Em trabalhos anteriores, os autores do presente artigo desenvolveram pesquisas intensivas sobre equações de volume, funções de afilamento e fatores de forma para o mesmo conjunto de dados. Estes trabalhos prévios forneceram os subsídios necessários e suficientes para que se fizessem comparações entre os volumes estimados por estes métodos, tomando o método de Smalian como testemunha, ou seja, como referência para fins de comparação.

2. OBJETIVO

Testar a hipótese de que os volumes de árvores estimados através de equações de volume, fator de forma e de funções de afilamento e os calculados através da fórmula de Smalian são estatisticamente iguais entre si.

¹ AHRENS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 3, p. 37-68, 1981

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização e localização da área de estudo

Os dados para desenvolver este estudo foram obtidos em plantios de *Pinus oocarpa*, pertencentes à empresa Duraflora S.A., situada na região sudoeste do estado de São Paulo, no município de Agudos. Conforme Golfari et al. (1978), esta região apresenta, em termos climáticos, periodicidade de chuvas, invernos secos com deficiência hídrica, precipitação anual entre 1100 e 1400 mm, geadas pouco frequentes, temperatura média entre 16 e 19°C. O clima é do tipo submontano ou subtropical moderado úmido, classificado segundo Köppen como Cwa, sendo caracterizado pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente. A vegetação natural local pertence à Floresta Ombrófila Pluvial, segundo classificação do IBGE campos submontanos. A altitude é de aproximadamente 900 metros.

3.2 Coleta e processamento dos dados

Foram amostradas 1100 árvores distribuídas eqüitativamente por 11 regimes de manejo, conforme mostra a Tabela 1. Destas árvores, foram tomados diâmetros, com e sem casca, ao longo dos fustes com intervalos fixos até um diâmetro mínimo de 3,0 cm, sobrando a ponta que teve comprimentos variáveis. Simultaneamente, foram também medidos os diâmetros à altura do peito (DAP), com casca, em centímetros, bem como a altura total (h) em metros.

Tabela 1. Especificação dos regimes de manejo.

Regime de manejo	Idade (anos)	Nº de desbastes	Nº de árvores
A	5	0	100
B	6	0	100
C	7	0	100
D	8	1	100
E	10	2	100
F	11	2	100
G	12	3	100
H	15	4	100
I	19	5	100
J	22	6	100
L	25	6	100

Os volumes individuais com e sem casca foram obtidos para as 1100 árvores cubadas, utilizando-se o método de Smalian.

Na Tabela 2, é apresentada a caracterização de cada um dos regimes de manejo implantados no plantio de *Pinus oocarpa*.

Tabela 2. Caracterização dos regimes de manejo.

Regime de Manejo	DAP (cm)			Altura (m)			Volume (m ³)		
	mín.	médio	máx.	mín.	médio	máx.	mín.	médio	máx.
A	4,4	17,5	20,4	5,2	9,6	12,7	0,00497	0,06359	0,19115
B	6,1	13,6	20,3	8,2	12,6	16,3	0,01751	0,10329	0,25328
C	6,3	14,7	24,1	7,9	13,7	17,8	0,02048	0,12932	0,42515
D	7,1	14,4	23,1	10,5	16,3	18,8	0,02888	0,13211	0,31039
E	9,2	17,2	26,2	13,2	16,9	20,9	0,04611	0,21704	0,49385
F	7,2	14,8	23,1	10,4	16,3	19,8	0,02306	0,15740	0,37841
G	7,1	15,8	25,4	10,5	16,3	20,5	0,02271	0,17968	0,47325
H	18,0	24,3	32,1	19,3	23,8	28,0	0,22617	0,52730	0,98644
I	20,5	30,2	42,2	23,0	26,4	28,9	0,39821	0,93327	1,96150
J	25,0	33,4	43,5	24,0	26,4	29,6	0,5672	1,16967	2,12439
L	27,5	35,9	49,0	22,8	26,2	28,4	0,69825	1,35844	2,51926

3.3 Obtenção dos fatores de forma

Usando os mesmos dados, Machado et al. (2003) desenvolveram pesquisa sobre fatores de forma absolutos ($F_{1,3}$) e naturais ($F_{0,1}$), comparando-os entre si ao nível de regime de manejo e para o geral, tanto com casca como sem casca. Na presente pesquisa, os fatores de forma médios por regime de manejo, que foram utilizados para a estimativa

Tabela 3. Fatores de forma usados por regime de manejo, com e sem casca.

Regime Manejo	F 0,1		F 1,3	
	CC	SC	CC	SC
A	0,4439	0,4505	0,5615	0,5242
B	0,5033	0,5060	0,5208	0,5242
C	0,5033	0,5431	0,5208	0,5365
D	0,5343	0,5431	0,5208	0,5365
E	0,5551	0,5774	0,5208	0,5587
F	0,5551	0,5431	0,5208	0,5242
G	0,5343	0,5431	0,5023	0,5242
H	0,5551	0,5774	0,4705	0,5365
I	0,5551	0,5774	0,4705	0,5365
J	0,5890	0,6127	0,5023	0,5587
L	0,5890	0,6127	0,5023	0,5365

3.4 Obtenção da equação de volume

Também com base no mesmo banco de dados, Machado et al. (2002) testaram nove modelos volumétricos para cada um dos 11 regimes de manejo, tanto para estimativas de volume com casca como sem casca. Após comparação dos parâmetros estatísticos e análise gráfica de resíduos, concluiu-se que o modelo de Meyer apresentou, em média, o melhor desempenho para estimar o volume total com e sem casca em cada um dos 11 regimes de manejo. Nas tabelas 4 e 5, estão demonstradas as equações ajustadas para cada regime de manejo, bem como seus parâmetros estatísticos.

Tabela 4. Equações de volume com casca, ajustadas por regime de manejo com respectivas estatísticas.

Regime Manejo	Equação Volumétrica Ajustada (Modelo de Meyer)	R ² aj.	Syx %	F
A	$v = -0,03279 + 0,009638d + 0,002753h - 0,0005085d^2 + 0,00007984d^2h - 0,00076015dh$	0,961	10,69	368,3
B	$v = 0,043642 - 0,010376d - 0,002884h + 0,0005787d^2 - 0,0000120243d^2h + 0,0008627dh$	0,968	8,58	444,8
C	$v = 0,120191 - 0,037242d + 0,0019904h + 0,001839d^2 - 0,0000494004d^2h + 0,001315dh$	0,959	10,97	343,6
D	$v = 0,143239 + 0,004533d - 0,024208h - 0,001106d^2 + 0,000034743d^2h + 0,001869dh$	0,936	10,40	230,6
E	$v = -0,501108 + 0,053071d + 0,29951h - 0,001213d^2 + 0,00010755d^2h - 0,0030502dh$	0,975	6,73	576,9
F	$v = 0,487578 - 0,063051d - 0,035123h + 0,001809d^2 - 0,0000976934d^2h + 0,0046223dh$	0,972	8,03	507,3
G	$v = 0,449239 - 0,058331d - 0,032252h + 0,001852d^2 - 0,0000928456d^2h + 0,004181dh$	0,976	9,75	605,3
H	$v = -2,52931 + 0,2181d + 0,09374h - 0,004759d^2 + 0,000208084d^2h - 0,00795967dh$	0,945	8,14	256,6
I	$v = 2,909216 - 0,201655d - 0,145359h + 0,004055d^2 - 0,000150723d^2h + 0,009869dh$	0,935	9,04	213,4
J	$v = -24,9847 + 1,41604d + 0,949147h - 0,018349d^2 + 0,00073995d^2h - 0,0539036dh$	0,926	8,37	185,1
L	$v = -5,08314 + 0,016553d + 0,20021h + 0,000014d^2 + 0,000036463d^2h - 0,00658585dh$	0,893	10,23	123,2

Onde: v = Volume estimado (m³);
h = Altura total da árvore (m).

R² = coeficiente de determinação; d = Diâmetro à altura do peito (cm);

Syx % = erro padrão da estimativa em porcentagem;

Tabela 5. Equações de volume sem casca, ajustadas por regime de manejo com respectivas estatísticas.

Regime Manejo	Equação Volumétrica Ajustada (Modelo de Meyer)	R ² aj.	Syx %	F
A	$v = - 0,035989 + 0,0101342d + 0,003191h - 0,0005733d^2 + 0,00007845d^2h - 0,0008926dh$	0,962	11,29	375,5
B	$v = 0,027626 - 0,0053533d - 0,002633h + 0,00013323d^2 + 0,000008069d^2h + 0,0005775dh$	0,945	12,25	252,9
C	$v = 0,05213 - 0,015451d + 0,0007329h + 0,0005014d^2 + 0,000004991d^2h + 0,00060226dh$	0,953	12,87	297,7
D	$v = 0,142628 - 0,0010098d - 0,019588h - 0,00087278d^2 + 0,000032748d^2h + 0,0015553dh$	0,936	11,72	214,8
E	$v = - 0,992807 + 0,112093d + 0,062111h - 0,00310598d^2 + 0,00021825d^2h - 0,0068687dh$	0,958	9,13	339,2
F	$v = 0,224493 - 0,0261666d - 0,0193675h + 0,0003988d^2 - 0,00002479d^2h + 0,00243555dh$	0,950	11,26	279,7
G	$v = 0,465658 - 0,065294d - 0,0317898h + 0,0021013d^2 - 0,000110454d^2h + 0,00438319dh$	0,965	11,57	413,3
H	$v = - 1,528394 + 0,133884d + 0,051686h - 0,0031113d^2 + 0,00013369d^2h - 0,00442466dh$	0,930	9,37	198,0
I	$v = 4,61264297 - 0,340144d - 0,212877h + 0,0065704d^2 - 0,00025422d^2h + 0,01532308dh$	0,910	10,85	149,5
J	$v = - 25,201777 + 1,4520004d + 0,962323h - 0,019491d^2 + 0,0007841d^2h - 0,05560045dh$	0,920	8,90	170,3
L	$v = - 8,8430149 + 0,4142403d + 0,335928h - 0,0039104d^2 + 0,0001799d^2h - 0,0156265dh$	0,874	11,02	102,6

Onde: v = Volume estimado (m³); R² = coeficiente de determinação; d = Diâmetro a altura do peito (cm); em porcentagem; h = Altura total da árvore (m).

Syx % = erro padrão da estimativa

3.5 Obtenção de equações de afilamento

Usando a mesma base de dados, Urbano (2003) pesquisou também sobre o ajuste da função de afilamento, tanto com casca, quanto sem casca, ao nível de regime de manejo. Este pesquisador testou as funções de Prodan et al. (1971), o polinômio de potência fracionária de Hradetzky (1976), o polinômio de segundo grau de Kozak et al. (1969), as razões de volume de Amateis & Burkhart (1987) e a de Clutter (1980).

Através da comparação dos parâmetros estatísticos dos modelos de afilamento ajustados para cada um dos regimes de manejo e da análise de resíduos para os mesmos, com e sem casca, concluiu-se, com base nos dados usados, que o modelo de Hradetzky (1976) apresentou, em média, o melhor desempenho para estimar o diâmetro com e sem casca. Para o ajuste do modelo de Hradetzky (1976), foram selecionados os expoentes pelo processo de "Stepwise". A Tabela 6 apresenta os expoentes usados para ajuste das funções para cada regime de manejo com e sem casca, e na Tabela 7, estão demonstrados os coeficientes e os parâmetros estatísticos obtidos após o ajuste.

Tabela 6. Expoentes selecionados pelo método "forward stepwise", para cada regime de manejo, com e sem casca.

Regime de manejo	Com Casca	Sem Casca
A	0,7; 14; 0,005; 4	0,9; 9; 0,005; 5
B	0,7; 5; 0,005; 11	1; 4; 0,005; 11
C	0,6; 7; 0,005; 4	1; 6; 0,005; 5
D	0,6; 10; 0,005; 5	1; 8; 0,005; 3
E	0,9; 9; 0,005; 6	2; 0,005; 10
F	0,6; 11; 0,005; 5	1; 9; 0,005; 5
G	0,7; 11; 0,005; 5	1; 7; 0,005; 2
H	1; 7; 0,07; 13; 0,005; 25	2; 0,1; 6; 0,005; 10; 25
I	1; 8; 0,06; 11; 0,005; 25	2; ,01; 9; 0,005; 7; 25
J	1; 11; 0,07; 10; 0,005	2; 0,005; 14
L	2; 0,09; 5; 0,005; 14	2; 0,005; 5

Tomando-se como exemplo o regime de manejo A com casca, a equação de potência fracionária de Hradetzki, usando os expoentes da primeira linha constantes da Tabela 6 e os coeficientes também da primeira linha da Tabela 7, tem a seguinte expressão:

$$d_i = d [1,43891 - 0,85109(h_i/h)^{0,7} + 0,121833(h_i/h)^{14} - 0,250719(h_i/h)^{0,005} - 0,45884(h_i/h)^4]$$

Onde:

d_i = Diâmetro do fuste tomado à altura h_i do fuste (cm);

d = Diâmetro à altura do peito (cm);

h_i = Altura medida ao longo do fuste (m);

h = Altura total (m).

Para a obtenção dos volumes estimados de cada árvore pela função de afilamento de Hradetzki, procedeu-se a integração de cada função ajustada para todos os regimes de manejo com e sem casca.

Tabela 7. Coeficientes e estatísticas para o modelo polinomial de potência fracionária, com casca (C/C) e sem casca (S/C).

Regime de Manejo C/C	Coeficientes							Parâmetros Estatísticos			
	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	R2 aj.	Syx	Syx%	F
A	1,438914	-0,85109	0,121833	-0,25072	-0,45885			0,978	0,863	9,51	4764,4
B	1,384346	-0,8285	-0,50194	-0,22735	0,179522			0,978	0,909	9,04	5964,7
C	1,414314	-0,75712	0,163829	-0,23955	-0,58109			0,979	0,933	8,82	6501,4
D	1,401202	-0,75621	0,061387	-0,24057	-0,46589			0,97	1,024	9,86	5934,2
E	1,342666	-0,64833	0,34775	-0,29261	-0,74881			0,987	0,726	6,15	13567,3
F	1,448609	-0,7202	0,042646	-0,31358	-0,45701			0,982	0,845	7,92	8236,2
G	1,384725	-0,73801	-0,04267	-0,2703	-0,33373			0,98	0,944	8,47	7565,1
H	1,181942	-0,27694	-1,3987	-1,61739	1,579835	1,158768	-0,62648	0,986	0,949	5,97	11424,4
I	1,180856	-0,29855	-2,53662	-1,62675	2,760421	1,203103	-0,68219	0,973	1,552	7,92	6675,8
J	1,190224	-0,35159	2,733364	-1,1038	-3,18635	0,719773		0,964	1,962	8,57	5871,6
L	1,210244	-0,04087	-1,49064	-0,90824	0,930636	0,299196		0,973	1,93	8,02	8029,2

Regime de Manejo S/C	Coeficientes							Parâmetros Estatísticos			
	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	R2 aj.	Syx	Syx%	F
A	1,084913	-0,68859	0,341003	-0,14874	-0,58845			0,974	0,743	9,95	3996,3
B	1,009968	-0,56369	-0,43331	-0,137	0,128569			0,968	0,857	10,25	4492,9
C	1,014076	-0,50746	0,98375	-0,16081	-1,32919			0,976	0,766	8,76	5488,7
D	1,016853	-0,45157	-0,0667	-0,16102	-0,33772			0,973	0,752	8,6	5977,2
E	1,018914	-0,77436	-0,18195	-0,06249				0,983	0,688	6,69	12572,6
F	1,062224	-0,57243	0,049921	-0,17968	-0,35973			0,974	0,807	8,85	5652,4
G	1,012699	-0,37972	-0,13775	-0,1575	-0,33822			0,978	0,783	8,26	6716,6
H	0,997145	-0,41302	-0,72001	-0,76486	0,412832	0,604061	-0,11466	0,978	1,054	7,22	6671,3
I	1,024799	-0,38162	-0,7977	1,442044	0,459525	-1,52613	-0,22054	0,965	1,596	8,77	4987,1
J	1,035044	-0,67331	-0,19776	-0,16424				0,956	1,949	9,12	7631,6
L	1,050793	-0,67871	-0,20762	-0,17561				0,961	2,073	9,25	8993,2

3.6 Análises estatísticas

3.6.1 Teste do χ^2 de Bartlett

Segundo Steel & Torrie (1960), corroborados posteriormente por inúmeros outros autores, tal como Koehler (1999), o teste de Bartlett é utilizado quando existem vários tratamentos em um experimento. O teste do χ^2 de Bartlett é feito para testar a homogeneidade de variâncias. É muito utilizado em análise de regressão e amostragem. Parte-se da hipótese de que as variâncias são homogêneas (H_0), e se o resultado do teste confirmar esta hipótese, procede-se à análise de variância e o teste de comparação de médias normalmente.

3.6.2 Análise de variância

Após a realização do teste de Bartlett e verificada a homogeneidade das variâncias, submetem-se os dados à análise de variância. Tal técnica utiliza a distribuição de F para se identificar a existência ou inexistência de diferenças significativas entre os diferentes tratamentos. Verificando-se diferenças significativas entre tratamentos, procede-se o teste de comparação de múltiplas médias o qual comumente aplicado é o teste de Tukey para detectar quais tratamentos realmente possuem médias diferentes. Para a comparação dos métodos de obtenção de volume, realizou-se a análise de variância com o intuito de verificar a existência ou não de diferenças significativas entre elas a um nível de 95% de probabilidade. Fez-se um delineamento inteiramente casualizado em que cada método foi considerado como um tratamento, com 100 repetições para todos os 11 regimes de manejo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Baseado nos resultados desta pesquisa sobre fatores de forma, equações de volume e sobre funções de afilamento, desenvolvidas para a espécie em questão, calculou-se o volume das árvores para cada regime de manejo pelos métodos de avaliação citados. Com o volume médio por método e por regime de manejo, confeccionou-se a Tabela 8.

Tabela 8. Volumes médios, com e sem casca, por regime de manejo para os métodos de avaliação.

Regime de Manejo	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO									
	Smalian		Equação de Volume		Função de Afilamento		Fator de Forma 1,3		Fator de Forma 0,1	
	C/C	S/C	C/C	S/C	C/C	S/C	C/C	S/C	C/C	S/C
A	0,0636	0,0431	0,0632	0,0429	0,0554	0,0394	0,0663	0,0437	0,0624	0,0422
B	0,1033	0,0726	0,1013	0,0711	0,0935	0,0677	0,1072	0,0755	0,1049	0,0728
C	0,1293	0,0901	0,1293	0,0898	0,1171	0,0841	0,1332	0,0914	0,1266	0,0913
D	0,1321	0,0951	0,1315	0,0952	0,1199	0,0901	0,1359	0,0963	0,1327	0,0948
E	0,2170	0,1668	0,2184	0,1687	0,2020	0,1614	0,2167	0,1678	0,2155	0,1666
F	0,1574	0,1168	0,1580	0,1169	0,1401	0,1086	0,1616	0,1176	0,1574	0,1144
G	0,1797	0,1325	0,1789	0,1322	0,1638	0,1241	0,1818	0,1313	0,1782	0,1303
H	0,5273	0,4512	0,5232	0,4467	0,4940	0,4237	0,5368	0,4571	0,5348	0,4526
I	0,9333	0,8197	0,9213	0,8041	0,8690	0,7553	0,9167	0,8253	0,9262	0,8152
J	1,1697	1,0337	1,1793	1,0402	1,1018	0,9698	1,1795	1,0368	1,1722	1,0317
L	1,3584	1,1960	1,3444	1,1795	1,2616	1,1004	1,3602	1,1711	1,3500	1,1967

4.1 Teste de homogeneidade de variâncias (Teste de Bartlett)

Na Tabela 9, estão apresentados os resultados pertinentes ao cálculo do Qui-quadrado para os diferentes métodos de avaliação de volume, oriundos dos diferentes regimes de manejo utilizados.

Tabela 9. Valores de Qui-Quadrado e níveis de significância obtidos pelo Teste de Bartlett para os diferentes regimes de manejo, com e sem casca.

Regime de manejo	χ^2		Graus de liberdade	Nível de significância	
	C/C	S/C		C/C	S/C
A	1,009	1,006	4	0,3449	0,5422
B	1,007	1,012	4	0,4783	0,1958
C	1,004	1,008	4	0,7417	0,4031
D	1,005	1,002	4	0,6274	0,8494
E	1,001	1,000	4	0,9442	0,9845
F	1,004	1,002	4	0,7105	0,8983
G	1,002	1,001	4	0,8741	0,9656
H	1,001	1,001	4	0,9182	0,9657
I	1,003	1,006	4	0,7989	0,5071
J	1,003	1,005	4	0,7741	0,6071
L	1,002	1,004	4	0,8683	0,6920

Como mostra a Tabela 9, os diferentes regimes de manejo, com e sem casca, apresentaram valores de Qui-quadrado não significantes ao nível de 95% de probabilidade, inferiores a 9,4877 (Qui-quadrado tabelado), o que caracteriza a homogeneidade de variâncias, fato que os habilitou à posterior Análise de Variância.

4.2 Análise de variância

Nas Tabelas 10 e 11, estão apresentadas as análises de variância, para os diferentes regimes de manejo, com e sem casca, respectivamente. Observa-se nas Tabelas 10 e 11 que todos os diferentes regimes de manejo apresentaram valores de F não significantes ao nível de 95% de probabilidade, confirmando a hipótese H_0 (todas as médias são iguais).

Tabela 10. Análise de variância para os regimes de manejo com casca.

Regime de manejo	Fonte Variação	Grau Liberdade	Quadrado Médio	F	Nível de significância
A	Tratamento	4	0,00165	1,266333	0,2822
	Erro	495	0,0013		
B	Tratamento	4	0,0027	0,973975	0,4213
	Erro	495	0,0028		
C	Tratamento	4	0,0037	0,757051	0,5536
	Erro	495	0,0049		
D	Tratamento	4	0,0037	0,962901	0,4275
	Erro	495	0,0039		
E	Tratamento	4	0,0046	0,49024	0,7429
	Erro	495	0,0093		
F	Tratamento	4	0,0071	1,02332	0,3947
	Erro	495	0,0070		
G	Tratamento	4	0,0052	0,447627	0,7741
	Erro	495	0,0117		
H	Tratamento	4	0,0097	0,275587	0,8937
	Erro	495	0,0351		
I	Tratamento	4	0,0651	0,579039	0,6780
	Erro	495	0,1124		
J	Tratamento	4	0,1094	1,02780	0,3923
	Erro	495	0,1064		
L	Tratamento	4	0,1719	1,12738	0,3428
	Erro	495	0,1525		

Tabela 11. Análise de variância para os regimes de manejo, sem casca.

Regime de manejo	Fontes Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Nível de significância
A	Tratamento	4	0,0002	0,4112	0,80
	Erro	495	0,0006		
B	Tratamento	4	0,0008	0,4880	0,74
	Erro	495	0,0016		
C	Tratamento	4	0,0009	0,3202	0,86
	Erro	495	0,0028		
D	Tratamento	4	0,0005	0,2628	0,90
	Erro	495	0,0022		
E	Tratamento	4	0,0008	0,1402	0,96
	Erro	495	0,0057		
F	Tratamento	4	0,0013	0,3386	0,85
	Erro	495	0,0040		
G	Tratamento	4	0,0011	0,1788	0,94
	Erro	495	0,0066		
H	Tratamento	4	0,0172	0,7435	0,56
	Erro	495	0,0232		
I	Tratamento	4	0,0798	0,8755	0,47
	Erro	495	0,0911		
J	Tratamento	4	0,0877	1,0018	0,40
	Erro	495	0,0875		
L	Tratamento	4	0,1578	1,32525	0,25
	Erro	495	0,1191		

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A análise de variância mostrou que não existe diferença significativa entre os métodos de estimativa de volume para os 11 diferentes regimes de manejo, com e sem casca, ao nível de 95% de probabilidade. Deste modo, confirmou-se a hipótese formulada, de que, os volumes calculados através da fórmula de Smalian e os estimados através do uso de fatores de forma, equações de volume e funções de afilamento não diferem na presente pesquisa.

Com referência ao uso destes métodos, apesar dos fatores de forma serem de mais simples utilização e as equações de volume terem uso consagrado, recomenda-se o uso das funções de afilamento que são flexíveis e permitem a estimativa do diâmetro a uma altura qualquer do fuste, da altura comercial para um dado diâmetro mínimo, e com a integração da função, obter o volume até

um diâmetro mínimo qualquer ou ainda de qualquer segmento ao longo do fuste, facilitando o sortimento do fuste para diversas finalidades, tais como laminação, serraria, celulose e energia, obtendo assim maior ganho com a venda da madeira.

REFERÊNCIAS

AMATEIS, R. L.; BURKHART, H. E. Cubic-foot volume equations for loblolly pine trees in cut-over site-prepared plantations. **Southern Journal of Applied Forestry**, Washington, v. 11, n. 4, p. 190-192, 1987.

CLUTTER, J. L. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. **Forest Science**, Washington, v. 26, n. 1, p. 117-120, 1980.

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 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, C. G.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. Conversão de equações de volume em equações de forma compatíveis para *Pinus elliotti*. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Floresta para o desenvolvimento: política, ambiente, tecnologia e mercado: anais**. São Paulo: SBS; [S.I.]: SBEF, 1993. v. 2, p. 501-503.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p.

HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statistischer abränger keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellem forschung projekten)**. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146 p. (Abt. Biometric und Informatik, 21).

KOEHLER, H. S. **Estatística experimental**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1999.123 p.

KOZAK, A.; MUNRO, D. P.; SMITH, J. H. G. Taper functions and their application in forest inventory. **Forest Chronicle**, Toronto, v. 45, n. 4, p. 278–283, 1969.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 4, n. 2, jul./dez. 2002, p. 185–197.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; URBANO, E. Comportamento de fatores de forma em plantações de *Pinus oocarpa* com diferentes idades e número de desbastes. In: CONGRESSO FLORESTAL, 8., 2003, São Paulo. **Benefícios, produtos e serviços da floresta: oportunidades e desafios do século XXI**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura: Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 2003. 1 CD-ROM.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. M. **Principles and procedures of statistics**. New York, McGrawHill, 1960. 481 p.

URBANO, E. Comparação de modelos de afilamento que descrevem o perfil da árvore para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - EVINCI, 11., 2003, Curitiba. **Resumos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, 2003. p. 236.