

**Estimativas de Volume de
Pinus tecunumanii no Cerrado
do Distrito Federal**



ISSN 1676-918X

Janeiro, 2009

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 230**

Estimativas de Volume de *Pinus tecunumanii* no Cerrado do Distrito Federal

Sebastião Pires de Moraes Neto

Planaltina, DF
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Fernando Antônio Macena da Silva*

Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*

Secretária: *Maria Edilva Nogueira*

Membros: *Rosângela Lacerda de Castro; Gustavo Porpino de Araújo;*

Eder de Souza Martins; Roberto Guimarães Júnior;

Fabiana de Góis Aquino; Alexandre Moura Cintra Goulart

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbués*

Equipe de Revisão: *Francisca Elijani do Nascimento*

Jussara Flores de Oliveira Arbués

Assistente de revisão: *Elizelva de Carvalho Menezes*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Foto(s) da capa: *Sebastião Pires de Moraes Neto*

Impressão e acabamento: *Alexandre Moreira Veloso; Divino Batista de Souza*

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2009): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Cerrados**

M827e Moraes Neto, Sebastião Pires de.

Estimativas de volume de *Pinus tecunumanii* no Cerrado do Distrito Federal. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2009.

16 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 230).

1. Pinus. 2. Cerrado. 3. Modelo matemático. I. Título. II. Série.

634.9751 - CDD 21

© Embrapa 2009

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	7
Resultados e Discussão.....	11
Conclusões.....	15
Referências	15

Estimativas de Volume de *Pinus tecunumanii* no Cerrado do Distrito Federal

*Sebastião Pires de Moraes Neto*¹

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo testar vários modelos matemáticos que expressam a relação entre o volume com o diâmetro à altura do peito de troncos de *Pinus tecunumanii* e a altura comercial e selecionar o modelo de melhor ajuste e precisão. Foram ajustados nove modelos tradicionais utilizados no setor florestal. A seleção do melhor modelo foi baseada nos seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e análise gráfica de resíduos. Concluiu-se que o melhor modelo para expressar o volume individual de árvores, com e sem casca, foi o de Meyer.

Termos para indexação: equações de volume, seleção de modelos.

¹ Engenheiro Florestal, D.Sc., pesquisador da Embrapa Cerrados, spmoraesn@cpac.embrapa.br

Volume Estimation of *Pinus tecunumanii* in the Federal District Savannah

Abstract

*The objective of this research was to test several mathematical models that express the relationship of the volume with diameter at breast height of *Pinus tecunumanii* trunks and commercial height and to select the best one. Nine traditional models used in the forest sector were selected. The selection of the best model was based on the following choice approaches: adjusted determination coefficient, standard error of estimate in percent and graphic analysis of residuals. The Meyer model was the best one for volume estimating of individual trees with and without bark.*

Index terms: volume equations, models selection.

Introdução

A variável volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal de uma região, sendo que o volume individual fornece um ponto de partida para avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais. O procedimento mais comum utilizado na estimativa de volumes por árvore é o emprego de equações em que o volume constitui a variável dependente, estando as variáveis independentes comumente representadas pelo diâmetro à altura do peito (DAP com casca) e à altura total (H) ou altura comercial (HC). Uma terceira variável independente que eventualmente pode ser usada em equações volumétricas é um termo que expressa a forma do fuste, normalmente o quociente de forma (MACHADO et al., 2005).

Muitos modelos matemáticos foram sendo criados e testados para o ajuste de equações de volume (COUTO; BASTOS, 1987; MACHADO et al., 2002; TEWARI; KUMAR, 2003; SCOLFORO et al., 2004; NUNES et al., 2005). Apesar de o uso ter consagrado alguns desses modelos, nenhum deles será sempre o de melhor performance para todas as espécies e condições. Por isso, é recomendável testar vários modelos para, por meio de análises estatísticas, identificar o melhor para cada caso (MACHADO et al., 2002).

O presente trabalho tem como objetivo testar vários modelos matemáticos que expressam a relação entre o volume com o diâmetro à altura do peito e à altura comercial e selecionar o de melhor ajuste em povoamento de *Pinus tecunumanii* implantado no Cerrado do Distrito Federal.

Material e Métodos

Um povoamento de *Pinus tecunumanii* foi instalado em Planaltina, DF, no início de 1985, num espaçamento de 3 m x 3 m, em área de Cerrado, com latitude de 15° 35' Sul, longitude 47° 42' Oeste, altitude de 1.100 m e com precipitação pluviométrica média de 1.500 mm/ano, com pronunciada estação seca de quase seis meses de duração. O solo é laterítico (oxisol), profundo, altamente lixiviado e de baixa fertilidade (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e texturais do solo.

pH em água	P mg kg ⁻¹	K	Ca cmol _c dm ⁻³	Mg	Al	H+Al	argila %.....	silte	areia
4,6	0,1	0,10	0,14	0,07	0,40	6,20	50	16	34

Na ocasião do plantio (adubação na cova) e 90 dias após (adubação de cobertura), as mudas foram fertilizadas com uma mistura de 100 g de superfosfato simples, 40 g de KCl, 3 g de borax e 2 g de ZnSO₄. Foi usada 50 % dessa mistura para cada aplicação.

Para a coleta de dados, foi utilizada uma área em que não tinha ocorrido nenhum desbaste. Foram utilizadas 15 árvores de cinco procedências, com diâmetro à altura do peito de no mínimo 23 cm (com casca) e boa forma, com objetivo de serem usadas em serraria. Para determinar o volume próximo do real, tomou-se, ao longo do fuste, medidas do diâmetro na base, DAP, e a 25 %, 50 %, 75 % e 100 % da altura comercial (até 12 cm de diâmetro).

Os modelos testados para estimar o volume individual, os quais foram baseados em trabalho de Machado et al. (2002), estão na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos testados para estimação de volume individual.

Autor	Equação
Hohenadl-Kren	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$
Spurr (Equação 1)	$v = \beta_1 (d^2 h)$
Spurr (Equação 2)	$v = \beta_0 + \beta_1 (d^2 h)$
Spurr (Equação 3)	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln (d^2 h)$
Stoate	$v = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 d^2 + \beta_3 (d^2 h)$
Meyer	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 d^2 + \beta_4 (d^2 h) + \beta_5 (dh)$
Berkhout	$\ln v = \beta_0 d^{\beta_1}$
Husch	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d$
Schumacker-Hall	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$

v = volume estimado (m³); ln = logaritmo neperiano; d = diâmetro a 1,30 m do solo (m); h = altura comercial da árvore (m); β_i = parâmetros dos modelos a serem estimados.

O volume observado foi calculado pela fórmula de Smalian:

$$V = (\pi/8)(D^2 + d^2) L \quad \text{em que:}$$

D = diâmetro da secção da base da tora (m).

d = diâmetro da secção do topo da tora (m).

L = comprimento da tora (m).

Como, para se estimar o volume total, a tora é dividida em vários toretes, a fórmula de Smalian é utilizada em cada torete e, então, faz-se a somatória.

A seleção do melhor modelo foi baseada nos seguintes critérios estatísticos de escolha: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa em porcentagem (S_{yx} %) e a análise gráfica de resíduos.

O coeficiente de determinação das regressões lineares (R^2_{LIN}), descrita em Draper e Smith (1966), e não lineares (R^2_{NLIN}), descrita em Tewari e Kumar (2003), foram calculadas dessa forma:

$$R^2_{LIN} = \frac{\sum_{i=1}^n (Vest_i - Vm)^2}{\sum_{i=1}^n (V_i - Vm)^2} \quad ; \quad R^2_{NLIN} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - Vest_i)^2}{\sum_{i=1}^n (V_i - Vm)^2}$$

em que:

$Vest_i$ = volume estimado da árvore i (m^3).

Vm = volume médio dos valores observados (m^3).

V_i = volume observado da árvore i (m^3).

n = número total de árvores amostradas.

E o coeficiente de determinação ajustado foi calculado assim:

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{(n-1)(1-R^2)}{(n-p)} \quad \text{em que:}$$

n = número total de árvores amostradas.

R^2 = coeficiente de determinação

p = número de parâmetros estimados pelo modelo.

O erro padrão da estimativa (S_{yx}) é uma estatística que mede a dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão, sendo que, quanto mais baixo for o valor do S_{yx} %, melhor terá sido o ajuste. O erro padrão da estimativa foi calculado pela fórmula:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \text{Vest}_i)^2}{n-p}}$$

Mesmo sendo os estimadores de ajuste bons indicadores para a escolha do melhor modelo, considera-se, como indispensável para a escolha em questão, a análise gráfica de resíduos, pois ela permite detectar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão, se os resíduos são independentes ou se há homogeneidade na variância (MACHADO et al., 2005). O resíduo % foi calculado assim:

$$\text{Resíduo \%} = ((V_i - \text{Vest}_i)/V_i) \times 100$$

Para verificar os melhores modelos, procedeu-se a uma classificação do R_{aj}^2 e S_{yx} % de cada modelo, com valores de 1 a no máximo 9 e, então, fez-se sua somatória. Quanto menor o valor da somatória, o modelo era considerado melhor. Escolheram-se quatro modelos e, em seguida, realizou-se a análise gráfica de resíduos.

Os parâmetros das equações foram determinados pelos procedimentos PROC REG e PROC NLIN do SAS (SAS INSTITUTE, 2003). O primeiro foi usado para equações com transformações logarítmicas (lineares) e o segundo para equações não lineares.

Resultados e Discussão

Observa-se, na Tabela 3, que os R^2_{aj} dos modelos de estimativas de volume com e sem casca variaram de 0,67 (modelo de Berkhout) a 0,99 (modelo de Spurr, Eq. 1) e os S_{yx} % de 3,34 % (modelo de Meyer) a 6,85 % (modelo de Berkhout). Machado et al. (2002), em estudo de povoamentos de *Pinus oocarpa* de diversas idades, observaram que os R^2_{aj} variaram de 0,88 (modelo de Spurr, Eq. 2) a 0,99 (modelo de Spurr, Eq. 1), e os S_{yx} % de 5,70 % (modelo de Stoate) a 14,72 % (modelo de Husck).

Os quatro melhores modelos, considerando a somatória do ranqueamento de R^2_{aj} e S_{yx} % para as estimativas de volume com e sem casca, foram os de Meyer, Schumacker-Hall, Spurr (Eq. 3) e Stoate. Os dois últimos modelos empataram no valor do ranqueamento e, quando isso ocorre, dá-se preferência para o menor S_{yx} %, que no caso foi o de Stoate. De acordo com Draper e Smith (1966), a estatística S_{yx} % é a mais apropriada do que o R^2_{aj} para a seleção das equações de regressão. Contudo, nenhum modelo de estimativa deve ser usado antes de se proceder a uma análise gráfica de resíduos, mesmo que os índices de ajuste (R^2) e de precisão (S_{yx}) sejam julgados satisfatórios (DRAPER; SMITH, 1966). Essa análise, embora visual, é que realmente vai indicar se a estimativa é boa ao longo de toda a linha de regressão, se não há tendenciosidades em nenhum de seus segmentos e se o modelo utilizado para as estimativas é realmente apropriada para esse fim (MACHADO et al., 2002).

Nas Fig. 1 e 2, relativas aos resíduos das estimativas de volume com e sem casca, observa-se que, no modelo de Meyer, os resíduos ficaram melhor aderidos ao eixo central do que o modelo de Schumacker-Hall. Fato semelhante ocorreu entre os modelos de Stoate e Spurr (Eq. 3), em que no primeiro a distribuição dos resíduos foi mais satisfatória do que no segundo, ao longo do eixo central.

Tabela 3. Resultados comparativos entre modelos para estimativas de volume de *Pinus tecunumanii* aos 23 anos de idade em Planaltina, DF.

Autor	Modelo	R^2_{aj}	$S_{yx} \%$	Σ
Meyer	c/c: $v = 27,8932 \cdot 212,1d \cdot 1,9574h + 400,7d^2 - 28,0089d^2h + 14,9803dh$	0,89 (2)	3,36 (1)	3
	s/c: $v = 20,2943 - 167,4d - 1,4297h + 342,6d^2 - 24,0376d^2h + 11,8940dh$	0,89 (2)	3,34 (1)	3
Hohenadl-Kren	c/c: $v = -5,4082 + 42,325d - 74,1248d^2$	0,81 (6)	4,47 (6)	12
	s/c: $v = -4,1672 + 35,68d - 67,086d^2$	0,81 (6)	4,21 (6)	12
Spurr (Equação 1)	c/c: $v = 0,4762d^2h$	0,99 (1)	4,60 (7)	8
	s/c: $v = 0,5064d^2h$	0,99 (1)	4,65 (7)	8
Spurr (Equação 2)	c/c: $0,0991 + 0,3901d^2h$	0,83 (5)	4,24 (5)	10
	s/c: $0,1064 + 0,3984d^2h$	0,82 (5)	4,10 (5)	10
Spurr (Equação 3)	c/c: $\ln(v) = -0,7175 + 0,8409\ln(d^2h)$	0,87 (3)	4,19 (4)	7
	s/c: $\ln(v) = -0,6802 + 0,8081\ln(d^2h)$	0,86 (3)	4,03 (4)	7
Stoate	c/c: $v = -0,3328 + 0,0301h + 2,3146d^2 + 0,191d^2h$	0,84 (4)	4,04 (3)	7
	s/c: $v = -0,2738 + 0,0264h + 1,8214d^2 + 0,2283d^2h$	0,84 (4)	3,85 (3)	7
Berkhout	c/c: $\ln(v+1) = 2,8335d^{1,40363}$	0,67 (7)	6,85 (9)	16
	s/c: $\ln(v+1) = 2,76d^{1,361}$	0,68 (7)	6,38 (9)	16
Schumacker - Hall	c/c: $\ln(v) = 2,1117 + 1,5053\ln(d) + 1,2522\ln(h)$	0,89 (2)	3,85 (2)	4
	s/c: $\ln(v) = -2,2145 + 1,44295\ln(d) + 1,26593\ln(h)$	0,89 (2)	3,64 (2)	4
Husck	c/c: $\ln(v) = 1,68143 + 1,71211\ln(d)$	0,67 (7)	6,72 (8)	15
	s/c: $\ln(v) = 1,61535 + 1,63687\ln(d)$	0,68 (7)	6,27 (8)	15

c/c = com casca; s/c = sem casca; R^2_{aj} = coeficiente de correlação ajustado; $S_{yx} \%$ = erro padrão da estimativa em termos percentuais; Σ = somatória do ranqueamento de R^2_{aj} e $S_{yx} \%$; v = volume estimado (m^3); \ln = logaritmo neperiano; d = diâmetro a 1,30 m do solo (m); h = altura comercial da árvore (m).

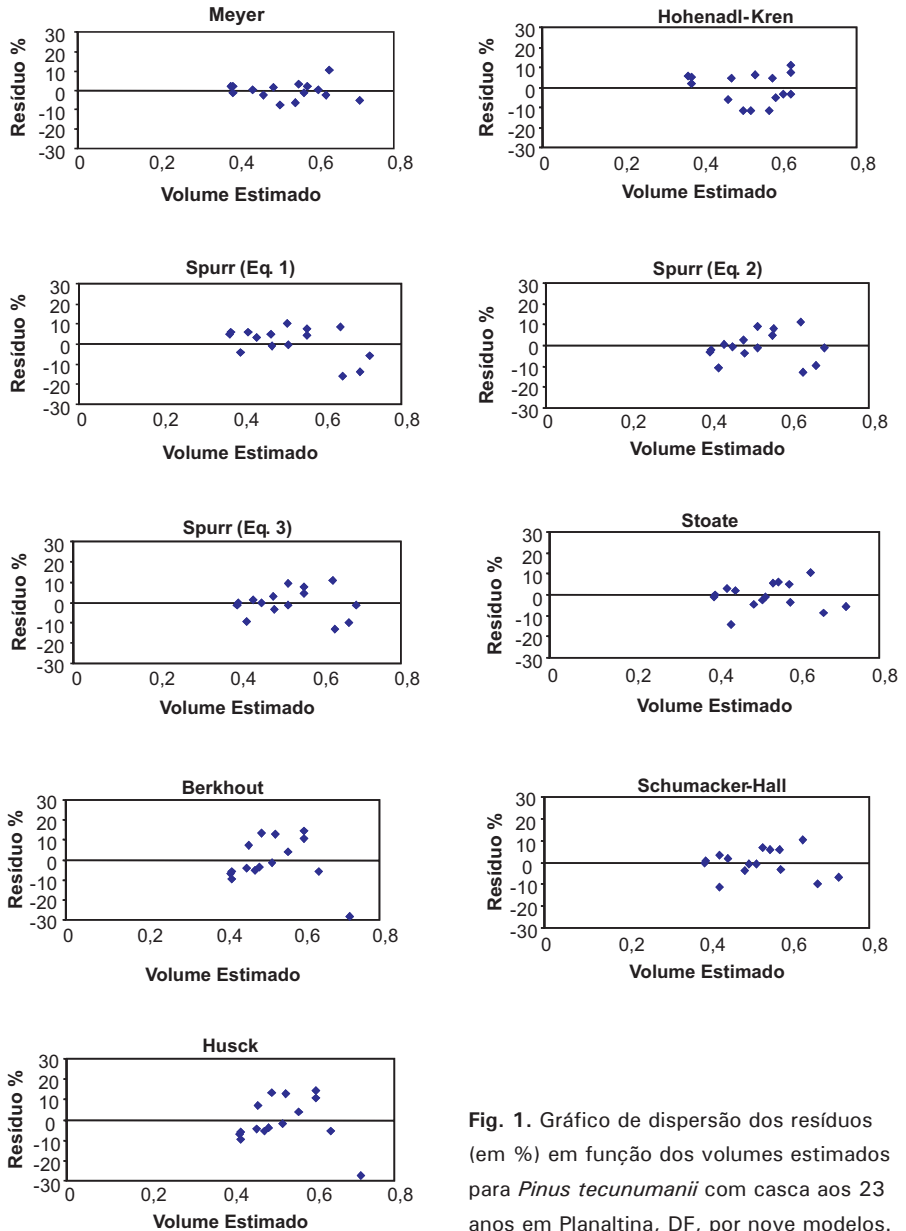


Fig. 1. Gráfico de dispersão dos resíduos (em %) em função dos volumes estimados para *Pinus tecunumanii* com casca aos 23 anos em Planaltina, DF, por nove modelos.

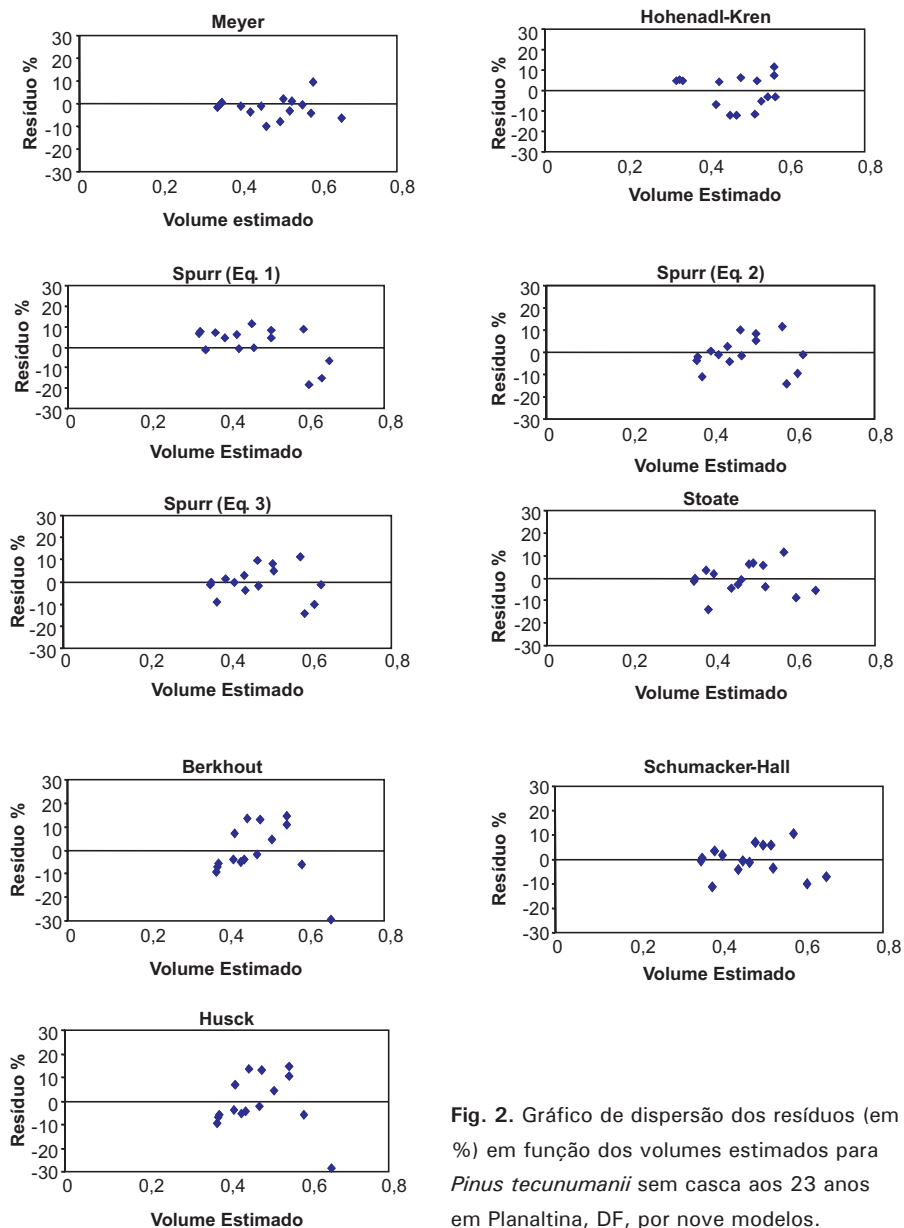


Fig. 2. Gráfico de dispersão dos resíduos (em %) em função dos volumes estimados para *Pinus tecunumanii* sem casca aos 23 anos em Planaltina, DF, por nove modelos.

Constatou-se que, após o uso dos parâmetros estatísticos R^2_{aj} e S_{yx} % e a confirmação pela análise gráfica dos resíduos, o modelo de Meyer pode ser usado para estimativas de volume com e sem casca nas condições do experimento. Resultado semelhante foi obtido por Machado et al. (2002) em povoamentos de *Pinus oocarpa* de várias idades, em que o modelo de Meyer, na média, foi o melhor. Contudo, um bom modelo para uma espécie pode não ser para outra espécie. Tewari e Kumar (2003), testando modelos de estimativa de volume de *Eucalyptus camaldulensis*, entre os quais os de Spurr (Eq. 2), Hohenadl-Kren e Meyer, numa amplitude de idade de 3,0 a 20,5 anos, observaram que o modelo de Spurr (Eq. 2) foi, na média, o que mais se destacou de forma positiva.

Conclusões

Entre os nove modelos para estimativas de volume de *Pinus tecunumanii* aos 23 anos com e sem casca testados, o de Meyer foi o mais adequado nas condições experimentais de Planaltina, DF.

O modelo de Schumacker-Hall foi ligeiramente inferior ao de Meyer, podendo também ser indicado para estimativas de volume com e sem casca de *Pinus tecunumanii* aos 23 anos.

Referências

- COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 37, p. 33-44, dez. 1987.
- DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1966. 407 p.
- 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, p. 185-197, 2002.
- MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbastes. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 50, p. 91-98, 2005.

NUNES, L. F.; MONTEIRO, M. L.; PATRICIO, M. S. Chestnut high Forest stands: biometrical study in the north of Portugal. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 693, p. 713-719, 2005.

SAS INSTITUTE. **The SAS-system for windows**: release 9.1 Cary, 2003.

SCOLFORO, J. R. S.; PÉREZ, J. F. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.; CAMOLESI, J. F.; BORGES, L. F. R.; ACERBI JÚNIOR, F. W. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (D.C.) MacLeish). **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 87-102, 2004.

TEWARI, V. P.; KUMAR, V. S. K. Volume equations and their validation for irrigated plantations of *Eucalyptus camaldulensis* in the hot desert of India. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 15, n. 1, p. 136-146, 2003.