



MODELAGEM DE VOLUME INDIVIDUAL PARA PINUS TROPICAIS EM POVOAMENTOS HOMOGÊNEOS NO MUNICÍPIO DE ASSIS – SP

MARTINS, Ana Paula Marques¹; GORENSTEIN, Maurício Romero²

RESUMO – (MODELAGEM DE VOLUME INDIVIDUAL PARA PINUS TROPICAIS EM POVOAMENTOS HOMOGÊNEOS NO MUNICÍPIO DE ASSIS – SP). O objetivo deste trabalho foi ajustar modelos volumétricos tradicionais da literatura florestal para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*, com 10 e 24 anos, respectivamente, da Floresta Estadual de Assis, Assis, SP. Os dados utilizados foram provenientes de 60 árvores, 30 indivíduos de cada espécie, cubadas de acordo com Smalian. A seleção de modelo foi baseada no coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa em porcentagem e análise gráfica de resíduos. O modelo de Schumacher-Hall e de Naslund apresentaram os melhores ajustes para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e para *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Palavras-chave: Equação de volume; *Pinus caribaea* var. *bahamensis*; *Pinus caribaea* var. *caribaea*; seleção de modelo.

ABSTRACT – (INDIVIDUAL VOLUME MODELING FOR TROPICAL IN HOMOGENEOUS STANDS IN ASSIS, SP). The objective of this work was to adjust traditional volumetric models of forestry literature for *Pinus caribaea* var. *bahamensis* and *Pinus caribaea* var. *caribaea*, with 10 and 24, respectively, the State Forest of Assisi, Assisi, SP. The data used were from 60 trees, 30 individuals of each species, scaled according to Smalian. The selection model was based on the adjusted determination coefficient, standard error of estimate in percentage and graphical analysis of waste. The model of Schumacher and Hall-Naslund had the best settings for *Pinus caribaea* var. *bahamensis* and *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Key-words: Volume equation; *Pinus caribaea* var. *bahamensis*; *Pinus caribaea* var. *caribaea*; selection model.

¹Engenheira Florestal, mestranda do programa de pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Av. Pref. Lothário Meissner, 900 - Jardim Botânico – CEP 80210-170 - Curitiba - Paraná - Brasil, e-mail: anapaula_marquesm@yahoo.com.br

²Engenheiro Florestal, Doutor, Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Estrada para Boa Esperança, km 04 - Comunidade São Cristóvão Dois Vizinhos, CEP 85660-000, PR – Brasil, e-mail: mauriciorg@utfpr.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da economia do Brasil e a execução de programas de infraestrutura, o mercado da madeira tem se mantido aquecido, podendo essa demanda chegar até 21 milhões de metros cúbicos por ano, segundo pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) e pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB) (CRUZ, 2012, p. 1). Atualmente há no Brasil cerca de 7,1 milhões de hectares de florestas plantadas, o que representa 0,8 % do território nacional, principalmente com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (SNIF, 2015, p. 1).

As espécies do gênero *Pinus* têm sido utilizadas amplamente em programas de reflorestamento (MACHADO et. al, 2004, p. 42). Neste gênero, existem aquelas espécies chamadas tropicais, que são originárias do sul da América do Norte e América Central, e que tem boa adaptação ao clima da região tropical brasileira, e podem ser plantadas também em algumas regiões do Sul do Brasil, desde que não apresentem geadas severas; dentre estas espécies, destaca-se o *Pinus caribaea*, que compreende três variedades, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var.

caribaea, que de modo geral, apresentam rápido crescimento e madeira resinosa (SHIMIZU, 2011, p. 1).

Segundo Machado; Urbano e Conceição (2005, p.82) uma das variáveis de maior importância para a determinação do potencial florestal de uma região é o volume, pois o volume individual da árvore é ponto de partida para a avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais. Como a mensuração de todas as árvores é uma atividade impraticável, principalmente em povoamentos extensos, são utilizadas amostras representativas da população, cujo cálculo do volume das árvores é feito por meio de estimativas. Dentre os métodos indiretos para se estimar o volume está o uso de um fator de forma, de equações volumétricas e o uso de equações de forma (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009, p. 219).

Neto et al. (1983, p. 57) afirmam que as equações de volume estimam o volume individual de árvores e do povoamento florestal de forma precisa e relativamente fácil em relação à outros métodos. Estas equações são desenvolvidas por análises de regressão, cujo volume é estimado a partir de uma variável de fácil obtenção como, por exemplo, o diâmetro à altura do peito e a altura total da árvore

(GUIMARÃES; LEITE, 1996, p. 138; MCTAGUE, 1989, p. 57).

Diante da importância em quantificar os parâmetros que estimam os estoques volumétricos das espécies de *Pinus* tropicais no Brasil, este trabalho tem por objetivo ajustar modelos volumétricos consagrados na literatura florestal para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e para *Pinus caribaea* var. *caribaea* com 10 e 24 anos, respectivamente, em povoamentos homogêneos na Floresta Estadual de Assis, município de Assis, SP.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo encontra-se na Floresta Estadual de Assis no município de Assis, região oeste do estado de São Paulo, criada a partir do Decreto Estadual nº 47098/02, com coordenadas geográficas: latitude 22° 35' S e longitude 50° 22' W. A Floresta Estadual de Assis possui uma área de 2.816,42 ha, abrangendo cerca de 6,6% da área total do município (MAX et al., 2007, p. 10).

O município de Assis está situado em uma região de transição entre dois tipos climáticos: Cwa e Cfa. Porém, a área da Floresta Estadual de Assis situa-se ao norte do município, estando, portanto, sob o

clima Cwa, com 30 mm de chuva no mês mais seco e temperatura média do mês mais quente de 22 °C e a do mês mais frio, cerca de 18 °C, pertencendo a Bacia Hidrográfica do Paranapanema. Na extensão da Floresta Estadual de Assis encontram três tipos de solo: Latossolo Vermelho distrófico, Neossolo Quartzarênico órtico e Argissolo Vermelho amarelo eutrófico (MAX et al., 2007, p. 24-34).

A maior parte da Floresta Estadual de Assis é ocupada com floresta de produção, onde a maioria dessas florestas foi plantada no início dos anos 60, com espécies de pinus tropicais e *Corymbia citriodora*.

2.2. Coleta de dados

Para o presente estudo foram utilizados dados referentes aos povoamentos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*, com espaçamento inicial 3 x 2 e sem desbaste, provenientes de inventário na área no ano de 2006. Foram cubadas 30 árvores para cada espécie. Estes indivíduos foram amostrados de acordo com a distribuição diamétrica encontrada, a fim de representar toda a população (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis dendrométricas dos estratos amostrados na Floresta Estadual de Assis, São Paulo

Estrato	Espécie	Idade ⁽¹⁾	N/ha	Ht (m)	DAP (cm)	H ₁₀₀
1	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	10	682	13,7	19,4	15,5
2	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	24	520	20,5	27,0	22,0

⁽¹⁾ árvores cubadas no ano de 2006. N/ha: Número de árvores por hectare; Ht: altura total média; DAP: diâmetro a altura do peito médio; H₁₀₀: altura dominante (m).

Na cubagem rigorosa, as árvores foram derrubadas e seccionadas nas posições: 0,10 (toco); 0,3; 0,7; 1,3; 2,0 metros; e após essa altura em intervalos fixos de 1 metro até a altura total. O cálculo do volume das árvores cubadas foi feito através do método de Smalian conforme a expressão a seguir:

$$v = \sum_{i=1}^n \left(\frac{g_1 + g_2}{2} + l \right) + \left(\frac{g_3}{3} + l \right)$$

Em que:

v = volume total (m³)

g1: Área seccional obtida na base da seção (m²);

g2: Área seccional obtida na extremidade da seção (m²);

g3: Área seccional obtida na base do cone (m²);

L: Comprimento da seção: (m).

Foram ajustados sete modelos de equações volumétricas provenientes da literatura (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos volumétricos ajustados para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea* localizados na Floresta Estadual de Assis, São Paulo

Autor	Modelo
<i>Husch</i>	$\ln(v) = b_0 + b_1 \ln(d) + \varepsilon_i$
<i>Brenac</i>	$\ln(v) = b_0 + b_1 \ln(d) + b_2 \left(\frac{1}{d} \right) + \varepsilon_i$
<i>Schumacher-Hall</i>	$\ln(v) = b_0 + b_1(d) + b_2(h) + \varepsilon_i$
<i>Spurr</i>	$\ln(v) = b_0 + b_1 \ln(d^2 h) + \varepsilon_i$
<i>Kopeski-Gehrhardt</i>	$v = b_0 + b_1 d^2 + \varepsilon_i$
<i>Meyer</i>	$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 (d \cdot h) + b_4 (d^2 \cdot h) + b_5 h + \varepsilon_i$
<i>Naslund</i>	$v = b_0 + b_1 d^2 + b_2 (d^2 \cdot h) + b_3 h + \varepsilon_i$

Em que: v = volume individual (m³); d= diâmetro a altura do peito (1,30 m); ε_i = erro; ln = logaritmo neperiano; h = altura total; b₁, b₂, b₃, b₄, b₅= coeficientes de regressão estimados a partir da amostra.

Foi realizado o cálculo do Índice de Meyer a fim de corrigir a discrepância logarítmica dos modelos logarítmicos, procedendo da seguinte forma:

$$IM = e^{(0,5 * S_{yx}^2)}$$

Em que:

IM = Índice de Meyer;

e = exponencial;

S_{yx} = erro padrão da estimativa.

A seleção do modelo foi feita a partir da análise de alguns critérios estatísticos: análise gráfica dos resíduos, erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$) e coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}).

O erro padrão da estimativa (S_{yx}) mede a dispersão dos valores observados em relação à linha média da regressão, e em porcentagem ($S_{yx}\%$) é possível a comparação de modelos de naturezas diferentes. O coeficiente de determinação (R^2) expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes, este coeficiente foi justado, para ser possível a comparação de modelos com qualquer que seja o número de variáveis independentes. Após a correção da discrepância logarítmica os parâmetros estatísticos foram recalculados a partir das seguintes expressões:

$$Syx \text{ recalculado} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$$

$$R^2 \text{ recalculado} = 1 - \left(\frac{SQ_{res}}{SQ_t} \right) \cdot \left(\frac{n - 1}{n - p} \right)$$

em que:

y_i = volume observado (m^3);

\hat{y}_i = volume estimado (m^3);

n = número de dados da amostra;

p = número de coeficientes;

SQ_{res} = soma dos quadrados dos resíduos;

SQ_t = soma total dos quadrados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados das Tabelas 3 e 4 são referentes aos parâmetros estatísticos obtidos pelo ajuste da equação de volume com casca para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e para *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Os ajustes fornecerem erro padrão da estimativa superiores a 8% para *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, com o menor $S_{yx} \%$ para o modelo proposto por Meyer (8,15%), os modelos de Naslund, Schumacher-Hall e Spurr forneceram bons ajustes com $S_{yx} \%$ inferiores a 10%. Para *Pinus caribaea* var. *caribaea* o erro padrão da estimativa foi superior a 11%, com o menor $S_{yx} \%$ obtido pelo modelo de Meyer (11,72%) sendo seguido pelo modelo de Spurr (11,73%). De modo geral,

os sete modelos testados apresentaram bom desempenho estatístico quanto ao coeficiente de determinação ajustado (R^2_{Aj}) para as duas espécies, com valores superiores a 0,9. Para *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, o modelo de Schumacher-Hall apresentou o maior R^2_{aj} (99,63), já o

modelo de Kopeski-Gehrhardt apresentou R^2_{aj} levemente inferior aos demais (0,9675). Para *Pinus caribaea* var. *caribaea* o R^2_{Aj} se comportou de maneira semelhante, com maior valor obtido pelo modelo de Schumacher-Hall.

Tabela 3. Parâmetros estatísticos dos modelos ajustados para o volume com casca de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, com 10 anos, na Floresta Estadual de Assis - SP

Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	Syx (%)	R^2_{Aj}
Husch	-8,6402	2,36334	-	-	-	-	15,1	0,9912
Brenac	-7,7488	2,1284	-3,4236	-	-	-	14,71	0,9912
Schumacher-Hall	-9,8351	1,86797	0,09964	-	-	-	9,31	0,9963
Spurr	0,0134	0,00003	-	-	-	-	9,79	0,9849
Kopeski-Gehrhardt	-0,0257	0,000621	-	-	-	-	14,37	0,9679
Meyer	0,0948	0,00533	-0,0006	0,00118	0,000034	-0,0198	8,25	0,9893
Naslund	-0,05703	-0,000073	0,000032	0,006985	-	-	9,15	0,9892

Em que: v = volume individual (m^3); dap = diâmetro a altura do peito (1,30 m) (cm); ht = altura total (m).

Morais Neto (2009, p. 10), avaliando estimativas de volume para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no Cerrado brasileiro, utilizando os mesmo parâmetros de seleção de modelo que o presente trabalho, constatou que o modelo de Meyer obteve os melhores resultados com Syx% de 3,39 % e R^2_{aj} de 0,96, o

autor também verificou que o modelo de Spurr e o de Schumacher-Hall também apresentaram valores satisfatórios dos parâmetros, com Syx% de 3,87 e R^2_{aj} 0,94, Syx% de 3,73 % e R^2_{aj} 0,95 respectivamente, assim como boa distribuição gráfica dos resíduos.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos dos modelos ajustados para o volume com casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, com 24 anos, na Floresta Estadual de Assis - SP

Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	Syx (%)	R^2_{Aj}
Husch	-8,5249	2,34819	-	-	-	-	15,59	0,9895
Brenac	-6,6985	1,96117	-6,2395	-	-	-	17,97	0,9917
Schumacher- Hall	-9,5831	1,97492	0,78249	-	-	-	13,89	0,985
Spurr	-0,0009	0,00003	-	-	-	-	11,73	0,9847
Kopeski – Gehrhardt	-0,0575	0,00074	-	-	-	-	17,60	0,9657
Meyer	-0,0622	0,00216	0,00019	0,00075	0,000043	0,0144	11,72	0,9848
Näslund	0,88098	-0,70001	5,978069	-0,9731	-	-	11,85	0,9844

Em que: v = volume individual (m^3); dap = diâmetro a altura do peito (1,30 m) (cm); ht = altura total (m).

Os modelos de Naslund também se destacaram, pois para as duas espécies explicam cerca de 99% da variação da variável dependente pelas variáveis independentes e Syx% entre os menores, 9,15 para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e 11,85 para *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Pelissari; Lansanova e Drescher (2011, p. 174) trabalhando com Pinus Tropicais na região norte do Brasil, apontam o modelo de Naslund em sua versão modificada como um dos de melhor ajuste dentre oito modelos volumétricos testados, com 8,122 % de Syx para *Pinus caribaea* var.

hondurensis para volume com casca. Melo et al (2013, p. 383), também encontraram o melhor ajuste com o modelo de Naslund modificado para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no sudoeste da Bahia.

A análise gráfica de resíduos foi realizada para detectar a existência ou não de tendências na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão, se os resíduos são independentes e se há homogeneidade na variância.

A figura 1 apresenta a dispersão gráfica dos resíduos para os modelos que obtiveram os menores valores de erro

Syx% para *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, em que é possível observar uma distribuição uniforme dos resíduos para o modelo Schumacher & Hall, enquanto que para os modelos de Spurr,

Meyer e Naslund observa-se tendenciosidades para estimativa do volume com casca das árvores com menores dimensões.

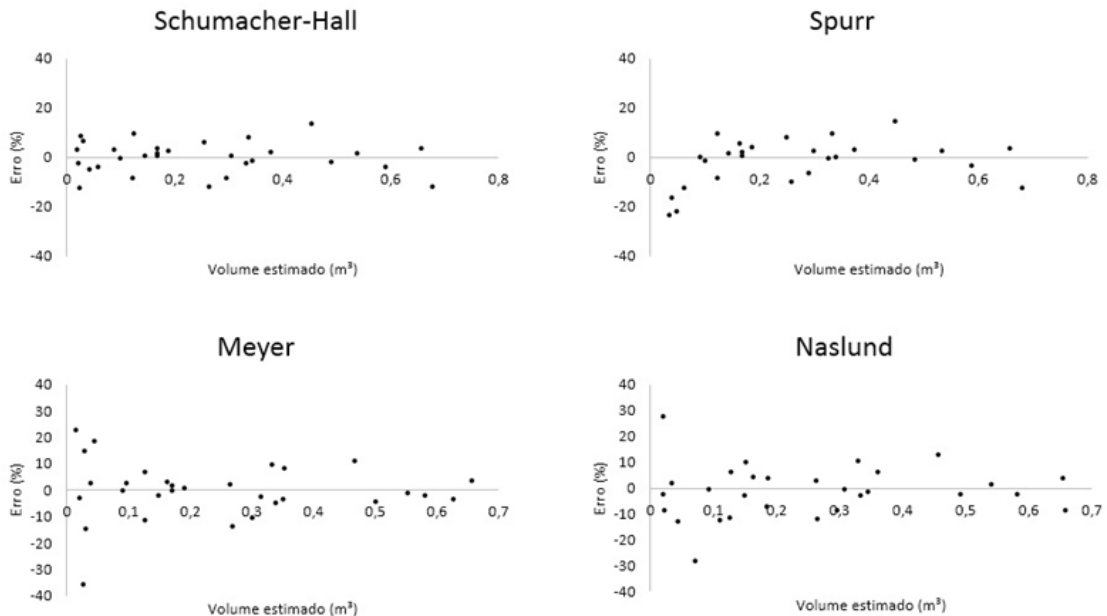


Figura 1. Gráficos dos Resíduos dos Modelos Volumétricos para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* com 10 anos.

Da mesma forma, para *Pinus caribaea* var. *caribaea*, foram plotados os resíduos para os modelos com menores Syx% (Figura 2). Constatou-se que os modelos de Schumacher & Hall e Naslund apresentam boa distribuição gráfica de seus resíduos em relação aos valores estimados. Os modelos de Meyer e Spurr apresentaram comportamentos semelhantes ao observado para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* (Figura 1).

Desta forma, o modelo de Schumacher-Hall foi selecionado para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* por

apresentar além de boa distribuição gráfica dos resíduos, o maior R^2_{aj} e um dos menores Syx%. Thomas et al. (2006, p. 325) comparando equações volumétricas para *Pinus taeda*, o modelo proposto por Schumacher-Hall foi o que apresentou os melhores parâmetros. Para *Pinus caribaea* var. *caribaea* o modelo de Naslund foi selecionado como de melhor ajuste, pois, combinado com os resultados de inexistência de tendenciosidades na distribuição dos resíduos, apresentou a melhor combinação de resultados para as estatísticas de ajuste (Syx% e R^2_{aj}).

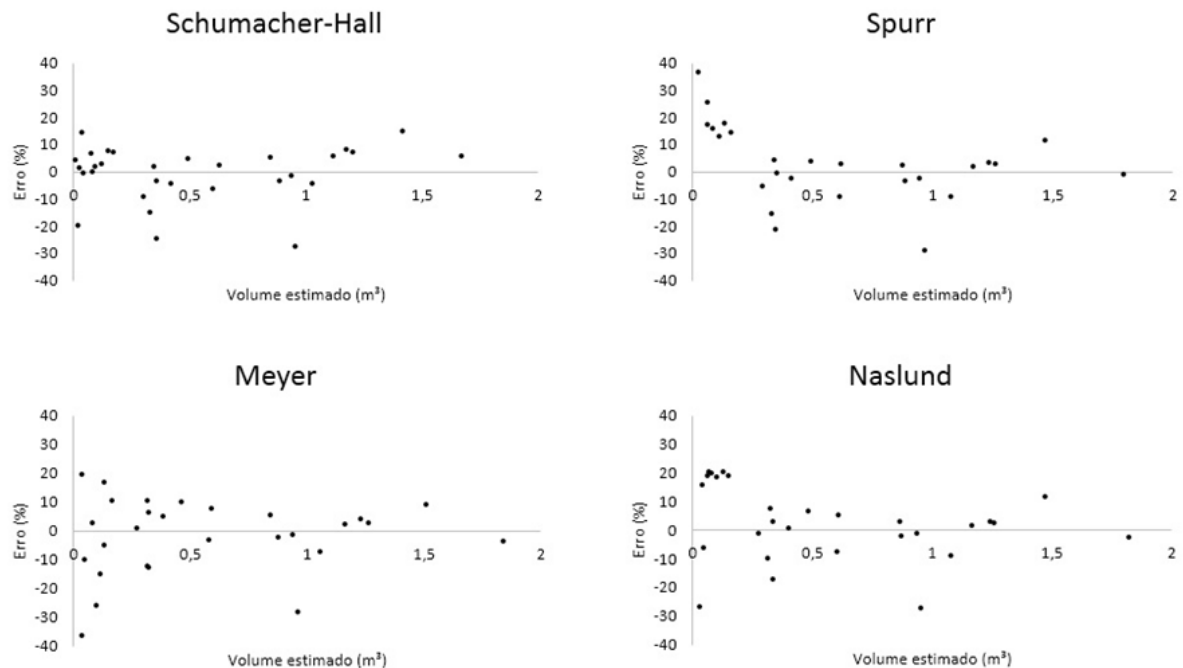


Figura 2. Gráficos dos Resíduos dos Modelos Volumétricos para *Pinus caribaea* var. *caribaea* com 24 anos.

4. CONCLUSÃO

O modelo de Schumacher-Hall e de Naslund apresentaram os melhores ajustes para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* com 10 anos e para *Pinus caribaea* var. *caribaea*, 24 anos, respectivamente, ambas as espécies sem desbaste, na Floresta Estadual de Assis, município de Assis – SP.

5. REFERÊNCIAS

CRUZ, M. M. IPAM e SFB produzem relatório que prevê aumento da demanda por madeira no Brasil. **Correio Braziliense**. 20 de maio de 2012.

Disponível em

<http://www.ipam.org.br/noticias/IPAM-e-SFB-produzem-relatorio-que-preve-aumento-da-demanda-por-madeira-no-Brasil/1858/destaque>, acesso em 15 de fevereiro de 2015.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Corymbia grandis*. **Scientia Florestalis**, n.50, p.37-42, dez., 1996.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2.ed. Guarapuava: Unicentro, 2009.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. Comparação de métodos de estimativas de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbaste. **Boletim de**

Pesquisa Florestal, Colombo, n. 50, p. 81-98, 2005.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FIGUEIREDO, D. J. Comparação de modelos de afilamento para diferentes regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 48, p. 41-64. 2004

MAX, J. C. M.; MELO, A. C. G.; HONDA, E. A.; DURIGAN, G. **Plano de Manejo da Floresta Estadual de Assis**. Assis: IF/SMA, 2004. 88p.

McTAGUE, J.; BATISTA, J. L. F.; STINER, L. H. Equações de volume total, volume comercial e forma do tronco para plantações de *Eucalyptus* nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. **IPEF**, n. 41/42, p. 56-63, jan/dez. 1989.

MELO L. C.; BARRETO, P. A. B.; OLIVEIRA, F. G. R.B.; NOVAES, A. B. Estimativas volumétricas em povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 379-386, out./dez. 2013

MORAIS NETO, S. P. Estimativas de volume de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no Cerrado do Distrito Federal, DF. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2009. 16 p.

PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamentos homogêneos, no Estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 173-181, jul./set. 2011.

SHIMIZU, J. Y. Cultivo de *Pinus*: Espécie *Pinus caribaea*. **EMBRAPA Florestas: Sistemas de Produção**, n. 5, 2ª edição, Maio, 2011.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO FLORESTAL, **SNIF. Recursos Florestais: As florestas plantadas**. Disponível em <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>, acesso em 15 de fevereiro de 2015.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de Equações Volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, 2006. v. 16, n.3, p. 319-327.