

Equação de volume para araucárias centenárias da Reserva Florestal Embrapa/Epagri

Patricia Póvoa de Mattos¹

Evaldo Muñoz Braz²

Eduardo Jocimar Berndt³

Yeda Maria Malheiros de Oliveira⁴

A determinação de volumes é fundamental para se determinar o estoque de madeira da floresta e para calcular a sua produtividade. Aferições do volume das florestas podem servir para estimativas de biomassa e carbono.

Muitos pesquisadores já desenvolveram equações para estimar volume de tronco, buscando embasamento para monitoramento e manejo sustentável de florestas de araucária (SIQUEIRA, 1977; MACHADO et al., 2001; FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ, 1978; BALBINOT et al., 2009; HESS; SCHNEIDER, 2010). Novos trabalhos são frequentemente recomendados, para ampliação da base de dados (AKINDELE; LEMAY, 2006; BRANDEIS et al., 2006; HESS; SCHNEIDER, 2010).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver equações de volume para árvores centenárias de *Araucaria angustifolia*, presentes na Reserva Florestal Embrapa/Epagri, em Caçador, SC.

A Reserva Florestal da Embrapa/Epagri (RFEE) é um dos maiores remanescentes contínuos com vegetação característica da região fitogeográfica Floresta Ombrófila Mista (FOM), parte do domínio da Mata Atlântica. A área onde está localizada a Reserva foi declarada área de utilização pública através do Decreto nº 25.407, de 30 de agosto de 1948. Em 1997, a área passou a ser denominada de Reserva Florestal Embrapa/Epagri - Caçador (ROSOT et al., 2007).

Foram medidas em campo 50 árvores de araucária, caídas em função de fortes ventos ocorridos em 2006. Todas apresentavam bom estado de conservação do tronco. Os diâmetros variaram entre 50 cm a 160 cm. Estudos preliminares mostraram que as árvores de maior diâmetro eram centenárias, com árvores com mais de 250 anos (BERNDT et al., 2009).

De cada árvore foi tomado o comprimento do fuste comercial, considerando o limite superior abaixo

¹Engenheira Agrônoma, Doutora, Pesquisadora da Embrapa Florestas. povoa@cnpf.embrapa.br

²Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da Embrapa Florestas. evaldo@cnpf.embrapa.br

³Engenheiro Florestal, Graduando, alemaofloresta@yahoo.com.br

⁴Engenheira Floresta, Doutora, Pesquisadora da Embrapa Florestas, yeda@cnpf.embrapa.br

da inserção dos galhos principais. Foram medidos diâmetros em 13 posições do fuste comercial, em relação à base da árvore: base (0%), 0,5 m, 1,30 m (DAP), e a cada 10% da altura comercial. Com esses dados, calculou-se o volume comercial de cada árvore, pelo método de Smalian.

O fator de forma foi calculado pela razão entre o volume real (V_r) e o volume do cilindro, considerando para o cilindro o diâmetro a 1,30 m, segundo metodologia descrita por Finger (1992).

Para o ajuste de equações para estimativa de volume comercial, foram testadas as equações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Equações para ajuste da estimativa do volume em função do diâmetro e altura de *Araucaria angustifolia* para a Reserva Florestal Embrapa/Epagri.

Número da equação	Modelo matemático	Autores
1	$v = b_0 + b_1 (d^2 \cdot hc)$	Spurr
2	$v = b_0 + b_1 \cdot d^2$	Kopezky-Gehart
3	$v = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d \cdot hc + b_4 \cdot d^2 \cdot hc + b_5 \cdot hc$	Meyer
4	$v = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d \cdot hc + b_4 \cdot d^2 \cdot hc$	Meyer modificado
5	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln hc$	Schumacher-Hall
6	$v = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot d^2 \cdot h + b_3 \cdot d \cdot hc^2 + b_4 \cdot hc^2$	Naslund modificada
7	$v = b_0 + b_1 \cdot d$	(sem autor)

v = volume sem casca em m³; d = DAP em m; hc = altura comercial em m; ln = logaritmo neperiano.

Parâmetros estatísticos utilizados para a seleção do modelo

Para se determinar o modelo mais adequado para estimar o volume, foram analisados quatro parâmetros, como utilizado por Hess et al. (2007): Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), Erro padrão da estimativa (S_{yx}), Erro padrão da estimativa percentual ($S_{yx} \%$) e Valor de F calculado (F_{cal}).

Para a escolha do melhor modelo, o valor ponderado foi determinado atribuindo-se valores aos parâmetros estatísticos calculados. Os parâmetros foram então ordenados de acordo com sua eficiência, sendo atribuído peso 1 para a melhor equação. Nesse caso, a pior equação terá o valor 7, por serem sete modelos testados. Após essa ponderação para os quatro parâmetros, o modelo que apresentar o menor valor ponderado será o escolhido, sendo considerado o melhor para se estimar o volume em função do diâmetro e da altura.

Considerando a altura comercial das árvores, estimou-se que o volume comercial médio por árvore foi de 12,69 m³. Esse valor é semelhante aos obtidos por Puchalski et al. (2006), em estudo realizado na mesma região, quando obtiveram volume médio estimado em 10,99 m³.

O fator de forma médio obtido para as 50 árvores foi de 0,59, variando de 0,40 a 0,86. A maioria das árvores apresentou fator de forma entre 0,50 e 0,70 (Figura 1). Esses resultados estão compatíveis com resultados obtidos por Hoogh et al. (1978), que encontraram fator de forma tendendo a 0,59 em árvores de araucária com DAP igual ou superior a 35 cm.

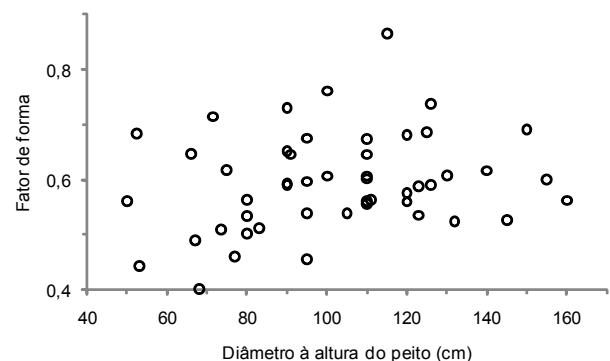


Figura 1. Fator de forma, de árvores caídas na Reserva Florestal Embrapa/Epagri, em função do diâmetro à altura do peito (DAP).

Ressalta-se que o fator de forma deve ser utilizado com cuidado, pois varia muito na mesma classe de diâmetro.

Utilizando-se os dados de diâmetro, altura comercial e volume comercial, foram estabelecidos os parâmetros estatísticos de cada modelo testado (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros estatísticos obtidos para o ajuste do modelo para estimativa de volume de árvores centenárias de *Araucaria angustifolia* da Reserva Florestal Embrapa/Epagri.

Equação	Coeficientes						R ² aj	Syx	S _{yx} %	F _{cal}
	B0	B1	B2	B3	B4	B5				
1	-0,03389	0,000047	-	-	-	-	0,93	1,77213	14,16	623,67
2	0,32054	0,00111	-	-	-	-	0,88	2,2940	18,33	352,82
3	-44,3404	0,9248	-0,00413	-0,0359	0,0002	1,700	0,94	1,6591	13,26	144,46
4	-4,6561	0,17220	-0,0007	-0,00355	0,00006239	-	0,93	1,6793	13,42	175,74
5	-9,7166	2,1511	0,6980	-	-	-	0,95	1,3773 ^(*)	5,81	488,47
6	3,0570	-0,000147	0,000053	0,0000186	-0,00697	-	0,93	1,7024	13,6	170,70
7	-11,2297	0,2335	-	-	-	-	0,90	2,0934	16,73	433,31

R²_{aj} - coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} - erro padrão da estimativa; S_{yx} % - erro padrão da estimativa percentual; F_{cal} - valor de F da análise de variância; b₀, b₁, b₂, b₃, b₄ e b₅ - coeficientes; ^(*) corrigido pelo Índice de Furnival.

Em geral, os modelos apresentaram um alto coeficiente de determinação, com valores superiores a 0,88, e erro da estimativa variando de 1,3773 a 2,2940. O coeficiente de variação foi de 5,81% a 18,33%, para um F calculado variando de 144,46 a 623,67.

O valor ponderado dos parâmetros estatísticos consta na Tabela 3, sendo o menor somatório um indicativo do melhor desempenho.

Tabela 3. Ordem de classificação dos parâmetros estatísticos, para os modelos testados para a estimativa de volume de madeira de árvores de *Araucaria angustifolia*, da Reserva Florestal Embrapa/Epagri.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	R ² _{aj}	S _{yx}	S _{yx} %	F _{cal}	
	1	3	5	5	
2	5	7	7	4	23
3	2	2	2	3	9
4	3	3	3	5	14
5	1	1	1	2	5
6	3	4	4	6	17
7	4	6	6	3	19

R²_{aj} - coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} - erro padrão da estimativa; S_{yx} % - erro padrão da estimativa percentual; F_{cal} - valor de F da análise de variância.

O valor ponderado foi obtido pela soma do resultado dos quatro parâmetros. O modelo que teve menor escore foi o modelo 5 de Schumacher-Hall, considerado o melhor nesse estudo, entre

os modelos analisados, apresentando um valor ponderado de 5. Destaca-se que apenas o parâmetro F_{cal} não foi o melhor para o modelo 5, dentre os modelos testados, mas era o segundo melhor. As equações de simples entrada não apresentaram precisão adequada.

O modelo ajustado de Schumacher-Hall é representado por:

$$\ln v = -9,7166 + 2,1511 \ln d + 0,6980 \ln hc,$$

considerando o volume comercial em m³, diâmetro a altura do peito (DAP) em metros e altura comercial também em metros, possibilita estimar, de maneira fácil e rápida, o volume do tronco das araucárias da área de estudo.

Schneider e Finger (2000) também selecionaram para a araucária o modelo de Schumacher-Hall.

Hess et al. (2007) testaram diferentes equações para estimativa de volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na serra do sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. A equação de Naslund modificada foi a que apresentou melhor estimativa, com menor erro, apesar de todas as equações testadas terem apresentado ótimos ajustes, inclusive a de Schumacher-Hall. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (1978) e Siqueira (1977) obtiveram em seus trabalhos tabelas de volume com dupla entrada (diâmetro e altura comercial para locais semelhantes), apresentando valores de volume estimado semelhante ao obtido nesse trabalho.

Conclusão

O modelo $\ln v = -9,7166 + 2,1511 \ln d + 0,6980 \ln hc$ de Schumacher-Hall é o mais indicado para a araucária na região de Caçador, SC.

Referências

AKINDELE, S. O.; LEMAY, V. M. Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest area of Nigeria. **Forest Ecology and Management**, v. 226, p. 41-48, 2006.

BALBINOT, R.; KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; MARCENE, E. A. Ajuste de equações alométricas para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. utilizando análise de componentes principais conjuntamente com análise de regressão. **Floresta**, v. 39, n. 2, p. 232-237, abr./jun. 2009.

BERNDT, E. J.; MATTOS, P. P. de; GARRASTAZU, M. C.; LACERDA, A. E. B. de; ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; ROSSOT, N. C. Aplicação de dendrocronologia em árvores centenárias da Reserva Florestal Embrapa/Epagri de Caçador, SC. In: SIMPÓSIO BRASIL-ALEMANHA, 4., 2009, Curitiba. **Desenvolvimento sustentável: resumos**. Curitiba: Centro de Cooperação Internacional Brasil-Alemanha: UFPR, 2009. 1 CD-ROM.

BRANDEIS, T. J.; DELANEY, M.; PARRESOL, B. R.; ROYER, L. Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. **Forest Ecology and Management**, v. 233, p. 133-142, 2006.

FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ. **Inventário florestal do pinheiro no sul do Brasil**: relatório final. Curitiba: FUPF: IBDF, 1978. 199 p. Contém 1 volume de anexos.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze em três regiões do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 107-122, 2010.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; ANDRADE, C. M. Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze na Serra do sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 247-256, 2007.

HOOGH, R.J.; DIETRICH, A.B.; AHRENS, S. Classificação de sítio, tabelas de volume e de produção para povoamentos artificiais de *Araucaria angustifolia*. **Brasil Florestal**, Brasília, v.9, n. 36, p. 58-82, 1978.

MACHADO, S. A.; MELLO, J. M.; BARROS, D. A. Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o pinheiro do Paraná, na Região Sul do Brasil. **Cerne**, v. 6, n. 2, p. 55-66, 2001.

PUCHALSKI, Â.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S. dos. Variação em populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Kuntze associada a condições edafo-climáticas. **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 137-148, abr. 2006.

ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; MATTOS, P. P. de; GARRASTAZU, M. C.; SHIMIZU, J. Y. **Monitoramento na Reserva Florestal da Embrapa/Epagri (RFEE) em Caçador, SC**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 1 CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 158).

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo sustentado de florestas inequidâneas heterogêneas**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciências Florestais, 2000. 195 p.

SIQUEIRA, J. D. P. Tabelas de volume para povoamentos nativos de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze, no sul do Brasil. **Floresta**, v. 8, n. 1, p. 7-12, 1977.

Comunicado Técnico, 256

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na: **Embrapa Florestas**
Endereço: Estrada da Ribeira Km 111, CP 319
Fone / Fax: (0**) 41 3675-5600
E-mail: sac@cnpf.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2010): conforme demanda

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Comitê de Publicações

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos
Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida
Membros: Antonio Aparecido Carpanezzi, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Cristiane Vieira Helm, Elenice Fritzsos, Jorge Ribaski, José Alfredo Sturion, Marilice Cordeiro Garrastazu, Sérgio Gaiad

Expediente

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos
Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté
Normalização bibliográfica: Elizabeth Denise Roskamp Câmara
Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté