

Foto: Maria Augusta Doetzer Rosot



Equação de volume para um plantio de *Araucaria angustifolia* em Rio Negro, PR

Mariana Ferraz de Oliveira¹
Patricia Povoá de Mattos²
Evaldo Muñoz Braz³
Maria Augusta Doetzer Rosot⁴
Nelson Carlos Rosot⁵
Wagner Correa Santos⁶

A *Araucaria angustifolia* é a principal espécie da Floresta Ombrófila Mista (FOM), destacando-se por ocupar o dossel superior. Possui madeira de alta qualidade e valor comercial e, devido a isso, foi fortemente explorada no século passado, resultando na inserção da espécie na lista de espécies ameaçadas de extinção (BRASIL, 2008).

Apesar do alto valor comercial, plantios de *Araucaria angustifolia* ainda são insignificantes, quando comparados às áreas de plantios comerciais de espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Este fato é consequência do menor crescimento volumétrico e falta de conhecimento sobre as diferentes procedências e sua adaptação aos diferentes sítios de plantio, de técnicas silviculturais, entre outras (HOPPE; CALDEIRA, 2003). Além disso, em função do desconhecimento sobre a autoecologia da espécie e da sua silvicultura, foram cometidos erros na implantação dos reflorestamentos e seu manejo, aumentando o desinteresse comercial (HESS et al., 2007).

Por esse motivo, muitos pesquisadores buscam respostas do potencial de crescimento em plantios de *Araucaria angustifolia* (JANKAUSKIS, 1972; CARVALHO, 1982, 1994), dinâmica de crescimento de plantios jovens (KOEHLER et al., 2010; MACHADO et al., 2010), diferenças de crescimento em diferentes condições de nutrição do solo (HOPE; CALDEIRA, 2003) e com sementes de diferentes procedências (SANTOS, 2006), deposição de serrapilheira (SCHUMACHER et al., 2004), produção de biomassa (SCHUMACHER et al., 2011), manejo baseado na condução do tamanho da copa (NUTTO, 2001) e métodos de amostragem (MOSCOVICH et al., 1999), entre outros.

Segundo Machado et al. (2000), o potencial madeireiro de uma floresta pode ser determinado de três maneiras: através do inventário florestal; pela técnica denominada "tabela (equação) de volume de um povoamento"; e com o emprego da distribuição diamétrica acoplada a funções de volume e hipsométricas.

¹Estudante de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, marianaferraz.floresta@gmail.com

²Engenheira-agrônoma, Doutora, Pesquisadora da Embrapa Florestas, povoaa@cnpf.embrapa.br

³Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da Embrapa Florestas, evaldo@cnpf.embrapa.br

⁴Engenheira Florestal, Doutora, Pesquisadora da Embrapa Florestas, augusta@cnpf.embrapa.br

⁵Engenheiro Florestal, Doutor, Professor da Universidade Federal do Paraná, ncrosot@ufpr.br

⁶Engenheiro Florestal, Mestre, Professor da Escola Florestal de Irati, correasantos@gmail.com

O volume é uma das variáveis de maior importância para o conhecimento do potencial madeireiro disponível em povoamentos florestais. O procedimento mais comum utilizado na estimativa de volumes por árvore é o uso de equações de volume como variável dependente, com diâmetro à altura do peito e altura total ou comercial como variáveis independentes.

A técnica de modelagem do volume individual de árvores em função dessas variáveis independentes começou a ser aplicada na primeira metade do século 20, com o desenvolvimento de técnicas de análise de regressão. Muitos modelos matemáticos foram criados e testados para o ajuste de equações de volume (MACHADO et al., 2002), como os trabalhos realizados por Hess e Schneider (2010), Hess et al. (2007), Machado et al. (2000), Schneider e Finger (2000) e Mattos et al. (2010), entre outros. Ainda assim, é recomendável testar diferentes modelos para identificar o melhor para cada caso (MACHADO et al., 2002).

O presente trabalho teve como objetivo ajustar equações de volume, em função do diâmetro e da altura, para um plantio equiâneo de *A. angustifolia* na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Paraná, no município de Rio Negro, Paraná.

A área de estudo consiste em um plantio de *A. angustifolia*, realizado em 1967, para testes de procedência. O clima é do tipo Cfb, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e temperaturas amenas com geadas frequentes no inverno (MAACK, 1981). Nesse experimento foram testadas 12 procedências distribuídas em 36 parcelas com espaçamento inicial de 3 m x 1,9 m (BALDANZI; ARAÚJO, 1971).

Para o presente trabalho foi efetuado o inventário do povoamento e cálculo de sua distribuição diamétrica, para seleção e corte de quatro árvores por classe de diâmetro (Tabela 1). O levantamento de dados em campo, coleta e preparo das amostras foram efetuados em trabalho anterior e a descrição detalhada dos procedimentos pode ser obtida em Santos (2006).

Tabela 1. Distribuição diamétrica para as classes coletadas, obtida por Santos (2006) para o povoamento em estudo.

Classes	Centro de classe (diâmetro em cm)
1	2,14 ≤ 5,72 < 9,31
2	9,31 ≤ 12,89 < 16,47
3	16,47 ≤ 20,1 < 23,64
4	23,64 ≤ 27,2 < 30,81
5	30,81 ≤ 34,4 < 37,97
6	37,97 ≤ 41,6 < 45,14

Sendo apresentados, na sequência, o limite inferior, o centro de classe e o limite superior.

A cubagem rigorosa foi feita pelo método de Smalian (SANTOS, 2006), sendo calculados os volumes individuais. A partir dos volumes calculados, as 24 árvores foram agrupadas para a obtenção e ajuste das equações de volume, com diâmetros à altura do peito e alturas variando de 6,62 cm a 45,04 cm e 7,3 m e 23,1 m, respectivamente.

Para o ajuste da equação de volume foram testados cinco modelos (Tabela 2), tendo como variáveis independentes o DAP (diâmetro à altura do peito) e altura total da árvore $v = b_1 d^2 h$.

Tabela 2. Equações para ajuste da estimativa do volume em função do diâmetro e altura de *Araucaria angustifolia* para a Fazenda Experimental de Rio Negro – UFPR.

Equação	Modelo matemático	Autores
1	$\ln V = b_0 + b_1 \ln(d)$	Husch
2	$V = b_0 + b_1 \cdot d^2$	Kopezky-Gehart
3	$V = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d \cdot h + b_4 \cdot d^2 \cdot h$	Meyer modificado
4	$V = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d \cdot h + b_4 \cdot d^2 \cdot h + b_5 \cdot h$	Meyer puro
5	$\ln v = b_0 + b_1 \ln(d) + b_2 \cdot \ln(h)$	Schumacher-Hall
6	$V = b_1 \cdot d^2 \cdot h$	Spurr (modificado sem b_0)
7	$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 \cdot h$	Spurr

Sendo: $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ = coeficientes da equação; \ln = logaritmo neperiano; d = diâmetro a altura do peito; h = altura.

Para a escolha do melhor modelo matemático foram calculados o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o erro padrão da estimativa (S_{yx}), o coeficiente de variação ($CV_{\%}$) e o valor de "F" estimado (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros estatísticos obtidos para o ajuste do modelo para estimativa de volume de árvores de *Araucaria angustifolia* da Fazenda Experimental de Rio Negro – UFPR.

Equação	Coeficientes						R ² aj	Syx	CV%	Fest
	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅				
1	-8,7653	2,3939					0,95	0,06674*	10,52	450,11
2	-0,0111	0,0006					0,94	0,09000	22,69	350,20
3	-0,0733	0,0228	-0,0010	-0,0007	0,0001		0,97	0,05684	14,33	228,21
4	-0,2919	0,0207	-0,0007	-0,0021	0,0001	0,0337	0,97	0,05345	13,47	207,14
5	-10,0675	1,8735	1,0211				0,99	0,01371*	8,54	361,92
6		0,0002944					0,99	0,06235	15,72	1.682,63
7	0,02182	0,0002857					0,97	0,06185	15,59	765,17

(*) Valores corrigidos pelo Índice de Furnival. Sendo: B₀, B₁, B₂, B₃, B₄, B₅ = coeficientes da equação; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação e Fest = teste F.

Para a escolha do melhor modelo, foi estipulada uma classificação para todos os parâmetros estatísticos, sendo que a melhor equação de acordo com o parâmetro analisado recebe o valor 1 e a pior, valor 7. A equação com menor somatório foi considerada como a melhor (Tabela 4).

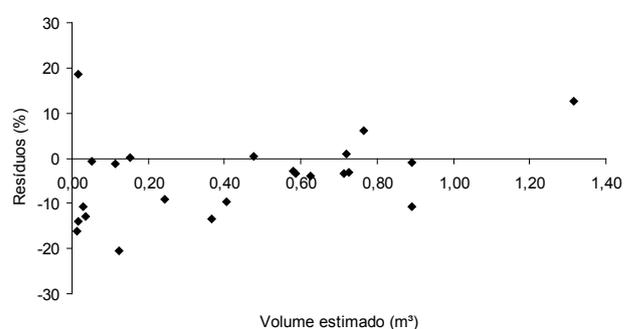
Tabela 4. Ordem de classificação dos parâmetros estatísticos, para os modelos testados para a estimativa de volume de madeira de árvores de *Araucaria angustifolia*.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Pontuação/ classificação
	R ² aj	Syx	CV%	Fest	
1	3	6	2	3	14 (3a)
2	4	7	7	5	23 (5)
3	2	3	4	6	15 (4)
4	2	2	3	7	14 (3b)
5	1	1	1	4	7 (1)
6	1	5	6	1	13 (2a)
7	2	4	5	2	13 (2b)

R²aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação e Fest = teste F.

A equação que obteve melhor resultado foi a de Schumacher-Hall, sendo a melhor em três dos quatro quesitos analisados e apresentando o quarto melhor F estimado. O fator forma obtido pelo volume real foi de 0,3748, sendo que o ideal para a idade das árvores de araucária em estudo deveria ser superior a 0,4, refletindo a condição de povoamento sem manejo de formação adequado.

Outra forma de análise do melhor modelo para obtenção do volume foi através da distribuição dos resíduos. Em relação a esse aspecto, o modelo de Schumacher-Hall apresentou boa distribuição de resíduos percentuais (Figura 1).

**Figura 1.** Distribuição dos resíduos percentuais para o modelo de Schumacher-Hall.

O modelo ajustado de Schumacher-Hall tem apresentado resultados satisfatórios para estimativa de volume para *Araucaria angustifolia* (MATTOS et al., 2010; SCHNEIDER; FINGER, 2000). Apesar de Schumacher-Hall ter se mostrado satisfatório para estimativa do volume de *A. angustifolia* na Serra Sudeste do Rio Grande do Sul, Hess et al., (2007) selecionaram, após determinação do valor ponderado, que a melhor equação de volume para o local foi o modelo de Naslund, considerando as variáveis diâmetro e altura.

Conclusão

O modelo matemático mais indicado para a estimativa do volume total nos plantios de *Araucaria angustifolia* na Fazenda Experimental da UFPR, em Rio Negro, PR, é a de Schumacher-Hall, expressa por $\text{Ln}V = -10,0675 + 1,8735\text{Ln}(d) + 1,0211\text{Ln}(h)$.

Referências

BALDANZI, G.; ARAÚJO, A. J. de. Investigação sobre a variação geográfica na *Araucaria angustifolia*, na estação de pesquisas florestais de Rio Negro, Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 37-42, 1971.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa n. 6, 23 de setembro de 2008. Reconhece espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Disponível em: <<http://www.mp.rs.gov.br/ambiente/legislacao/id4902.html>>. Acesso em: 25 jul. 2011.

CARVALHO, P. E. R. Comparação de espécies nativas, em plantio em linhas em capoeira, na região de Irati-PR: resultados aos sete anos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 5, p. 53-68, dez. 1982.

CARVALHO, P. E. R. *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze: pinheiro-do-paraná. In: CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 70-78.

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

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; ANDRADE, C. M. Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Serra do Sudeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 17, n. 3, p. 247-256, jul./set. 2007.

HOPPE, J. M.; CALDEIRA, M. V. W. Correlações entre o crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, plantada na Floresta Nacional de Passo Fundo, RS com as características químicas do solo. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 1, n. 4, p. 33-40, out./dez. 2003.

JANKAUSKIS, J. Ensaio de plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Ktze. **Revista Floresta**, v. 4, n. 1, p. 54-62, 1972.

KOEHLER, A. B.; CORAIOLA, M.; PÉLLICO NETTO, S. Crescimento, tendências de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantios jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em Tijucas do Sul, PR. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 38, n. 85, p. 53-62, mar. 2010.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio, 1981, 450 p.

MACHADO, S. A.; AURELIO, M.; SILVA, L. C. R.; NASCIMENTO, R. G. M.; QUIRINO, S. M. S.; TÊO, S. J. Dinâmica de crescimento de plantios jovens de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 165-170, mai./jul. 2010.

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**, v. 4, n. 2, p. 185-197, jul./dez. 2002.

MACHADO, S. A.; MELLO, J. M. de; BARROS, D. A. de. 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, 2000.

MATTOS, P. P. de; BRAZ, E. M.; BERNDT, E. J.; OLIVEIRA, Y. M. M. de. **Equação de volume para araucárias centenárias da Reserva Florestal Embrapa/Epagri**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 256).

MOSCOVICH, F. A.; BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Comparação de diferentes métodos de amostragem, de área fixa e variável, em uma floresta de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 9, n. 1, p. 173-191, 1999.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 11, n. 2, p. 9-25, 2001.

SANTOS, W. C. **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze**. 2006. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

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

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; HERNANDES, J. I.; KÖNIG, F. G.; Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 29-37, 2004.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N.; LOPES, V. G.; VIERA, M. Produção de biomassa no corte raso em plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze de 27 anos de idade em Quedas do Iguaçu, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 21, n. 1, p. 53-62, jan./mar. 2011.

Comunicado Técnico, 275

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



Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



1ª edição
Versão eletrônica (2011)

Comitê de Publicações

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos
Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida
Membros: Álvaro Figueredo dos Santos,
Antonio Aparecido Carpanezzi, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Dalva Luiz de Queiroz, Guilherme Schnell e Schuhli, Luís Cláudio Maranhão Froufe, Marilice Cordeiro Garrastazu, Sérgio Gaia

Expediente

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos
Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté
Normalização bibliográfica: Francisca Rasche
Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté