

## Caracterização da estrutura e desenvolvimento de modelos para quantificação do potencial madeireiro em povoamento não manejado de *Araucaria angustifolia*

Rafaella De Angeli Curto<sup>1</sup>, Patrícia Povoia de Mattos<sup>2</sup>, Evaldo Muñoz Braz<sup>2</sup>, Randolf Zachow<sup>3</sup>, Sylvio Péllico Netto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná, Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Av. Pref. Lothário Meissner, 900, Jardim Botânico, Campus III, CEP 80.210-170, Curitiba, PR, Brasil

<sup>2</sup>Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, Km 111, CP 319, Colombo, PR, Brasil

<sup>3</sup>Serviço Florestal Brasileiro, Unidade Regional Sul / UR-Sul, Rua Eurípedes Garcez do Nascimento, 683, Centro Cívico, CEP 80.540-280, Curitiba, PR, Brasil

**\*Autor correspondente:**

rafaellacurto@yahoo.com.br

**Termos para indexação:**

Manejo florestal  
Floresta Nacional  
Distribuição diamétrica

**Index terms:**

Forest management  
National Forest  
Diameter distribution

**Histórico do artigo:**

Recebido em 08/08/2014

Aprovado em 17/12/2014

Publicado em 31/12/2014

doi: 10.4336/2014.pfb.34.80.764

**Resumo** - Objetivou-se caracterizar um povoamento não manejado de *Araucaria angustifolia* e desenvolver modelos para quantificação do potencial madeireiro, visando subsidiar a elaboração de planos de manejo em povoamentos com condições semelhantes. O trabalho foi desenvolvido em um povoamento estabelecido em 1946, na Floresta Nacional do Açungui, no Município de Campo Largo, Estado do Paraná, com histórico de apenas um desbaste, entre 1970 e 1980. A partir da frequência dos indivíduos por classe diamétrica, notou-se condição de povoamento estagnado em competição, com coorte no início da distribuição. Com a aplicação da função densidade de probabilidade de Weibull-3P, do modelo de Trorey e do polinômio do 5º grau por classe diamétrica, foi possível confirmar a estimativa do potencial madeireiro do povoamento. Essa análise indicou que o plantio apresenta produção de madeira média anual abaixo do potencial da espécie, sendo recomendável condução de desbaste para favorecimento de árvores remanescentes. Com a função densidade probabilidade selecionada, Weibull-3P, é possível projetar a distribuição diamétrica do povoamento, quando analisada de forma complementar com informações de crescimento em diâmetro, caso este permaneça não manejado. Certamente, o potencial ótimo de produção madeireira poderia ter se manifestado em situação onde a condução de manejo ocorresse durante todo o ciclo previsto.

### **Characterization of structure and development of models to quantify wood potential of an unmanaged *Araucaria angustifolia* stand**

**Abstract** - The objective of this study was to characterize of an unmanaged stand of *Araucaria angustifolia* and to development of models to quantify the wood potential, aiming to support the development of forest management plans in stands with similar conditions. The work was developed into a stand established in 1946, in National Forest of Açungui, in Campo Largo County, Paraná State, Brazil. There was only one thinning in the stand, between 1970 and 1980. From the frequency of individuals in each diametric class, it was observed the condition of stagnation and competition with cohort in the beginning of class distribution. With the application of the probability density function of Weibull-3P, Trorey model, and the 5<sup>th</sup> polynomial by diameter class, it was possible to confirm the stock estimative of timber volume of the stand. This analysis indicated that the stand presents average annual wood production smaller than the species potential. So it is recommended the thinning to promote growth of remnant trees. With the probability density function of Weibull-3P, that was selected, it is possible to project the diametric distribution of the stand, when analyzed complementarily with growth diameter information, if the stand remains unmanaged. Certainly, the optimum potential of timber production could have been manifested if the stand were managed during the cycle planned.

## Introdução

*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze tem indiscutível importância econômica e ecológica para os estados de ocorrência natural. Apesar de o manejo e uso dessa espécie estar sendo tratada pelo poder público com restrições, quando na forma nativa, sua madeira de alta qualidade, aliada à forma cilíndrica do fuste, apresenta características para que a árvore seja utilizada para fins muito nobres. Em consequência disso, o desenvolvimento e aplicação de modelos para estimativas úteis ao planejamento e uso sustentável desses recursos são etapas importantes para o manejo sustentável.

É prática comum o ajuste de equações para estimativa de volume de madeira, em plantios florestais. Segundo Loetsch et al. (1973), a equação volumétrica possui o mérito de apresentar poucas variáveis, fáceis de serem medidas e sendo bem correlacionadas com o volume. Dentre as técnicas de modelagem, que são ferramentas valiosas para o planejamento dos possíveis produtos da área sob manejo, possibilitando prever multiprodutos, destacam-se também os modelos de afilamento (Demaerschalk, 1972) e a previsão de distribuição de diâmetros no povoamento (Rennolls et al., 1985).

Em florestas equiâneas a distribuição dos diâmetros geralmente apresenta tendência à unimodalidade, de forma que as maiores frequências concentram-se nos valores médios e as menores nos valores extremos (Prodan, 1968). De acordo com Anuchin (1970), em povoamentos homogêneos os quocientes e fatores de forma variam da mesma maneira que os diâmetros e alturas, de modo que essas variações são menores dentro das classes diamétricas isoladas e podem ser caracterizadas por valores médios de quocientes e fatores de forma, que decrescem gradualmente da classe mais baixa para a mais alta. A distribuição das árvores, de acordo com os fatores de forma para cada classe de diâmetro separadamente e para o total do povoamento, pode ser descrita por curvas de distribuição, facilitando o estabelecimento de valores médios para caracterizar os volumes de árvores.

No entanto, em povoamentos com idade avançada, principalmente quando não manejados adequadamente, o comportamento pode não seguir esse padrão. Isso porque, de acordo com Kramer & Koslowski (1960),

em povoamentos florestais de alta densidade, as árvores estão em constante competição pelo espaço aéreo e pelo espaço no solo e algumas superarão os indivíduos menos vigorosos. Nestes casos, observa-se grande amplitude de diâmetros no povoamento, em virtude da competição, que impede o desenvolvimento potencial de todas as árvores de forma semelhante.

Dentro desse contexto, a análise da distribuição diamétrica permite estimar o número de árvores por hectare para cada classe de diâmetro, de modo a viabilizar a obtenção de informações mais detalhadas sobre a estrutura do povoamento (Clutter et al., 1983).

Assim, os modelos por classe diamétrica permitem analisar toda a estrutura do povoamento, bem como a avaliação econômica de produtos discriminados em classe de tamanho, possibilitando a avaliação de novas opções para o uso dos produtos da floresta.

Apesar de muito difundidas e aplicadas no manejo de plantios florestais, o ajuste de funções probabilísticas para distribuições diamétricas de *Araucaria angustifolia* (Machado et al., 2000; 2009; 2010), bem como de relações hipsométricas (Caldeira et al., 2003; Machado et al., 2008; Figueiredo Filho et al., 2010), e modelos de volume (Machado et al., 2000; Mattos et al., 2010; Sanquetta et al., 2010; Oliveira et al., 2011), mesmo que para uma mesma espécie, é um fator importante para conduzir povoamentos, uma vez que locais diferentes, geralmente o material genético, espaçamento inicial e idade são diferentes (Gorgens et al., 2009)

No estado do Paraná, os primeiros plantios de *Araucaria angustifolia* tiveram início com as atividades do Instituto Nacional do Pinho, em torno de 1945 (Dietrich, 1979), sendo que muitas dessas áreas são hoje Florestas Nacionais. Muitos desses plantios deixaram de ser manejados há mais de 30 anos, apresentando atualmente crescimento estagnado. Ainda assim, plantios não manejados podem apresentar informações valiosas para o embasamento de planos de manejo, visando o uso dos recursos de forma sustentável, como em estudos conduzidos por Silver et al. (2013) e Peltoniemi & Mäkipää (2011).

Nesse contexto, objetivou-se caracterizar um povoamento não manejado de *Araucaria angustifolia* e desenvolver modelos para quantificação do potencial madeireiro, visando subsidiar a elaboração de planos de manejo em povoamentos com condições semelhantes.

## Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido em uma área de plantio de aproximadamente 131 hectares de *Araucaria angustifolia*, estabelecido em 1946, na Floresta Nacional de Açungui, localizada no Município de Campo Largo, Estado do Paraná, com registro de apenas um desbaste realizado no período entre 1970 a 1980. Assim, visto que a última intervenção que o plantio sofreu data de mais de 30 anos, atualmente o povoamento encontra-se superestocado, com dossel homogêneo, de forma que as copas estão em contato umas com as outras.

Para quantificação da densidade foram instaladas 46 unidades amostrais fazendo-se uma adaptação do Método de Prodan (“Seis Árvores”). Esta adaptação foi realizada uma vez que o centro da parcela foi definido como uma árvore central, enquanto diferentemente no método de Prodan o centro é um ponto.

Como centro de cada unidade amostral, as árvores foram distribuídas em seis classes de diâmetro, com intervalo de classes de 10 cm, variando de 10 cm a 70 cm, sendo estas classes estabelecidas com base em um inventário piloto realizado na área de estudo (Inventário..., 2012). Buscou-se selecionar 8 árvores em cada uma das classes, porém na maior classe de diâmetro, foram selecionados apenas 6 indivíduos, devido à pequena representatividade dessa referida classe no povoamento.

Para definir o tamanho de cada parcela, mais uma adaptação do método foi realizada, sendo utilizadas ao invés de seis árvores, todas as árvores ativamente concorrentes com cada árvore principal, considerando-se aquelas cujas copas estavam em contato com a copa da árvore principal de cada parcela. Este número poderia ser variável para cada árvore principal, ou seja, para cada parcela. O raio tomado entre o centro da unidade (centro da árvore principal) e o centro da sua árvore competidora em copa mais distante foi utilizado para determinar a área da unidade amostral.

Foi medido o dap (diâmetro a 1,30 m do solo) de todas as árvores presentes dentro do raio da parcela. Quando não havia contato entre copas, porém a árvore estava dentro do raio definido para cada parcela, e apresentava dap maior ou igual a 10 cm, estas também eram incluídas como componentes da densidade.

O número de árvores por hectare (N), bem como a área basal por hectare (G) foram estimados, seguindo-se os passos do método de Prodan apresentados por Péllico

Netto e Brena (1997), porém adaptados ao número de árvores encontrados na parcela.

Para a obtenção da estimativa da área basal, usou-se a seguinte relação de proporcionalidade:

$$\frac{\pi R_n^2 - \sum_{i=1}^{n-1} g_i + \frac{g_n}{2}}{10.000 - \hat{G}} \rightarrow \hat{G} = \frac{\frac{\pi}{4} \left( d_1^2 + d_2^2 + \dots + \frac{d_n^2}{2} \right)}{\pi R^2} 10.000$$

O número de árvores por hectare foi obtido usando o mesmo princípio da proporcionalidade:

$$\frac{\pi R_n^2 - n - 0,5}{10.000 - \hat{N}} \rightarrow \hat{N} = \frac{(n - 0,5)(10.000)}{\pi R_n^2}$$

Em que:  $R_n$  = Raio da parcela (m);  $g_i$  = área transversal das árvores pertencentes a parcela, exceto a mais distante da principal (m<sup>2</sup>);  $g_n$  = área transversal da árvore concorrente mais distante da árvore principal (m<sup>2</sup>);  $d_1, d_2, \dots, d_n$  = diâmetro a 1,30 m do solo (cm),  $n$  = número de árvores ocorrentes na parcela.

Lembrando que, para as parcelas consideradas neste estudo, o centro é uma árvore e, portanto, esta foi contabilizada no cálculo de área basal e número de indivíduos por hectare.

As 46 árvores de *Araucaria angustifolia* definidas como centro das parcelas foram derrubadas e cubadas (SISBIO 35355-1). As árvores amostradas foram divididas em seções, a partir da altura de 0,1 m; 0,5 m; 1,0 m e 1,30 m e posteriores medidas a cada 10% até atingir 100% da altura comercial, totalizando 14 medições por árvore. Além da altura comercial, foram medidas a altura do fuste e total, sendo consideradas a distância do solo até o primeiro galho, a distância do solo até o ponto de inserção da copa, e a distância do solo até a ponta do galho mais alto, respectivamente. O volume comercial e volume do fuste com casca de cada árvore foi determinado pelo método de Smalian, somando-se os volumes parciais de cada seção.

### Distribuição de frequência diamétrica e ajuste de funções densidade de probabilidade para distribuição diamétrica

Após a obtenção dos dados para todas as árvores das 46 parcelas medidas, foi realizada a distribuição de frequência diamétrica do povoamento, sendo as árvores distribuídas em 6 classes diamétricas, com amplitude de 10 cm, variando de 10 cm a 70 cm.

Os dados obtidos também foram utilizados para o ajuste de funções densidade de probabilidade (*fdp*) propostas (Tabela 1), de modo a permitir a estimação das frequências por classe de diâmetro.

As *fdp*'s de Weibull-3P e Weber tiveram as estimativas obtidas pelo processo iterativo do solver do Microsoft Excel®, pela minimização dos quadrados dos resíduos. Para estimar os parâmetros das *fdp*'s

Normal, Log-Normal, Gama e Beta foi utilizado o método dos momentos e para os parâmetros da *fdp* de Sb de Johnson foi utilizado o método da máxima verossimilhança. As estimativas dos parâmetros das *fdp*'s que dependiam das estimativas das funções Gama, foram obtidas conforme metodologia para aproximação dessa função proposta por Assis et al. (1996).

**Tabela 1.** Funções densidade de probabilidade e suas condicionantes.

Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right]^2}$	$\sigma > 0;$ $-\infty < x < +\infty;$ $-\infty < \mu < +\infty;$
Log-Normal	$f(x) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(\ln x - \mu)}{\sigma}\right]^2}}{x\sigma\sqrt{2\pi}}$	$x \geq x_{\min}; \sigma > 0;$ $-\infty < x < +\infty;$ $-\infty < \mu < +\infty;$
Gama	$f(x) = \frac{(x - x_{\min})^{\alpha-1} e^{-\frac{(x-x_{\min})}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$	$x \geq x_{\min};$ $\alpha, \beta > 0;$ $-\infty < x_{\min} < +\infty;$
Beta	$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \frac{1}{(x_{\max} - x_{\min})^{\alpha+\beta-1}} (x - x_{\min})^{\alpha-1} (x_{\max} - x)^{\beta-1}$	$x_{\min} < x < x_{\max};$ $\alpha, \beta > 0;$ $-\infty < x_{\min} < x_{\max} < +\infty$
Weibull-3P	$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} e\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right]$	$x \geq x_{\min};$ $-\infty < x_{\min} < +\infty;$ $b, c > 0; a \geq 0$
Sb de Johnson	$f(x) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(x - \varepsilon)(\lambda + \varepsilon - x)} e^{-\frac{1}{2}\left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{x - \varepsilon}{\lambda + \varepsilon - x}\right)\right]^2}$	$\varepsilon < x < +\lambda;$ $-\infty < \gamma < +\infty;$ $\lambda > 0; \delta > 0$
Weber	$f(x) = \frac{x^a}{(b + cx)^d}$	$0 \leq x < +\infty;$ $d \geq a + 1;$ $d \neq a + 2;$ $d \neq a + 3;$ $a, b, c, d > 0$

Em que:  $f(x)$  = função densidade da variável  $x$ ;  $x$  = variável aleatória;  $x_{\min}$ ;  $x_{\max}$  = valores mínimos e máximos da variável aleatória;  $e$  = exponencial;  $\sigma^2$  = variância;  $\sigma$  = desvio-padrão;  $\mu$  = média;  $\Gamma$  = função gama;  $\alpha$  e  $\beta$  = parâmetros a serem estimados;  $a$  = parâmetro de locação;  $b$  = parâmetro de escala;  $c$  = parâmetro de forma;  $\varepsilon$  = parâmetro de locação;  $\lambda$  = parâmetro de escala;  $\delta$  e  $\gamma$  = determinam a forma da distribuição. Quando  $\delta$  aumenta implica em grande aumento na forma. Já aumentos no valor absoluto de  $\gamma$  implica em mais assimetria, ou seja,  $\delta$  é o parâmetro curtose e  $\gamma$  é o parâmetro que expressa a assimetria.

Após ajustar as funções, verificou-se a qualidade do ajuste obtido para cada função pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. O referido teste foi utilizado para testar as hipóteses de  $H_0$  e  $H_1$  a 95% de probabilidade do teste bilateral, sendo que:  $H_0$  = os diâmetros observados seguem as distribuições propostas; e  $H_1$  = os diâmetros observados não seguem as distribuições propostas. Foram também traçadas as curvas das frequências estimadas e frequências observadas, por classe de diâmetro, para as *fdp*'s testadas.

### Ajuste de modelos de relação hipsométrica, volume e afilamento

Para o ajuste de relações hipsométricas, foram testados dez modelos, ajustados para altura do fuste e comercial das 46 árvores derrubadas, em função do diâmetro a 1,30 m do solo (dap). Para a estimativa de volume foram testados onze modelos volumétricos, sendo quatro de simples entrada e sete de dupla entrada, e três modelos de afilamento polinomiais não segmentados (Tabela 2). Os ajustes para a variável volume foram realizados para o conjunto total dos dados (46 árvores), sendo divididos em classes.

Uma vez que cada classe diamétrica contava com oito árvores representativas, exceto a maior classe que contava com apenas seis, as estimativas da altura e volume tomando-se as classes com amplitude de 10 cm estariam representadas por poucas amostras, comprometendo o ajuste dos modelos. Assim, para o ajuste dos modelos, optou-se por agrupar as classes da seguinte forma: de 10 cm a 30 cm (classe 1) com 16 árvores; de 30 cm a 50 cm (classe 2) com 16 árvores; e de 50 cm a 70 cm (classe 3) com 14 árvores.

Os modelos volumétricos e os de afilamento de Kozak et al. (1969) e Polinômio do 5º grau foram ajustados em planilha eletrônica. O Polinômio de Potências Inteiras e Fracionárias foi construído pelo procedimento de seleção *Stepwise*, com a utilização de potências inteiras da ordem de dezenas para representar a base de árvore, em conjunto com potências fracionárias para representar a porção superior do fuste, conforme sugerido por Hradetzky (1976). Os expoentes utilizados no processo de construção do modelo variaram entre 0,005 e 25. Foi realizada a integração de cada modelo de afilamento para a obtenção dos volumes do fuste e volume comercial (Husch et al., 1982).

Para todos os modelos de afilamento testados, tanto para a estimativa dos diâmetros correspondentes a qualquer altura (*di*'s), como para a estimativa dos volumes do fuste, volume comercial, e volume considerando cada secção da cubagem, ou seja, ao longo do tronco, o cálculo dos parâmetros estatísticos e suas análises de resíduos foram realizados em planilha eletrônica.

Foram verificadas as significâncias dos coeficientes de regressão pelo teste *t*. Os ajustes foram avaliados quanto à acuracidade e precisão, usando-se o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ), erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}$  %), recalculados para modelos logaritmizados e análise gráfica de resíduos.

Para modelos logaritmizados, efetuou-se a correção da discrepância logarítmica, multiplicando-se o valor estimado de cada árvore pelo fator de correção de Meyer, para então recalcular as estatísticas.

Para seleção do modelo mais preciso utilizou-se, também, as estatísticas complementares (Tabela 3) *viés* (V), média das diferenças absolutas (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD), que possibilitam uma análise mais detalhada sobre o desempenho das estimativas.

Com as estatísticas *viés*, média das diferenças absolutas e desvio padrão das diferenças procedeu-se à ordenação dos modelos, sendo estabelecidas notas, em que a menor nota é dada ao melhor modelo para cada estatística avaliada. Foi considerado como o modelo mais adequado aquele que resultou em menor somatório nas notas (classificação), conforme utilizado por Figueiredo Filho et al. (1996), observando-se conjuntamente as estatísticas  $R^2_{ajust}$ ,  $S_{yx}$  % e análise gráfica de resíduos. Essa classificação foi feita para cada classe diamétrica e também para o conjunto total das árvores. No caso de mesmo valor em qualquer das estatísticas para diferentes equações, essas receberam a mesma nota. Para avaliar a necessidade de estratificação dos dados em classes de diâmetro, foi realizado o teste de identidade de modelos de regressão linear, desenvolvido por Graybill (1976) e descrito por Regazzi (1996). Comparou-se apenas o agrupamento total e a divisão em 3 classes, sem variar todas as possíveis combinações.

**Tabela 2.** Modelos de relação hipsométrica, modelos de volume e de afilamento.

<b>Autores</b>	<b>Modelos hipsométricos</b>
Linear simples	$h = \beta_0 + \beta_1 d + \varepsilon_i$
Trorey	$h = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon_i$
Assmann	$h = \beta_0 + \beta_1 / d + \varepsilon_i$
Henricksen	$h = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon_i$
Stoffels	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon_i$
Curtis	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 / d + \varepsilon_i$
Petterson	$h = [1/(\beta_0 + \beta_1/d)]^3 + 1,3 + \varepsilon_i$
Naslund (1)	$h = \frac{\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2}{d^2} + \varepsilon_i$
Naslund (2)	$h = \left( \frac{\beta_0 + \beta_1 d^2}{d^2} + 1,30 \right) + \varepsilon_i$
Naslund (3)	$h = \left( \frac{\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2}{d^2} + 1,30 \right) + \varepsilon_i$
<b>Autores</b>	<b>Modelos volumétricos</b>
Kopezky-Gehrhardt	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \varepsilon_i$
Hohenadl e Krenn	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 d^2 + \varepsilon_i$
Husch	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \varepsilon_i$
Brenac	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \beta_2 \cdot (1/d) + \varepsilon_i$
Spurr sem $\beta_0$	$v = \beta_1 \cdot (d^2 h) + \varepsilon_i$
Spurr-Variável combinada	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot (d^2 h) + \varepsilon_i$
Stoate	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot h + \beta_2 \cdot d^2 + \beta_3 \cdot (d^2 h) + \varepsilon_i$
Naslund	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 + \beta_2 \cdot (d^2 h) + \beta_3 \cdot (d h^2) + \beta_4 h^2 + \varepsilon_i$
Meyer	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot h + \beta_3 \cdot d^2 + \beta_4 (d^2 h) + \beta_5 (d h) + \varepsilon_i$
Schumacher-Hall	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \beta_2 \cdot \ln(h) + \varepsilon_i$
Spurr	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d^2 h) + \varepsilon_i$
<b>Autores</b>	<b>Modelos de afilamento</b>
Kozak et al. (1969)	$\frac{d_i}{d} = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{h_i}{h} \right) + \left( \frac{h_i}{h} \right)^2 + \varepsilon_i$
Polinômio do 5º grau (Schopfer, 1966)	$\frac{d_i}{d} = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{h_i}{h} \right) + \beta_2 \left( \frac{h_i}{h} \right)^2 + \left( \frac{h_i}{h} \right)^3 + \left( \frac{h_i}{h} \right)^4 + \left( \frac{h_i}{h} \right)^5 + \varepsilon_i$
Polinômio das potências inteiras e fracionárias (Hradetzky, 1976)	$\frac{d_i}{d} = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{h_i}{h} \right)^{p1} + \beta_2 \left( \frac{h_i}{h} \right)^{p2} + \dots + \beta_n \left( \frac{h_i}{h} \right)^{pn} + \varepsilon_i$

Em que: v = volume estimado (m³); d<sub>i</sub> = diâmetro correspondente a qualquer altura h<sub>i</sub>, especificada (cm); d = diâmetro a 1,30 m de altura (cm); h = altura total (comercial ou do fuste) (m); ln = logaritmo neperiano; h<sub>i</sub> = altura correspondente ao diâmetro d<sub>i</sub>(m); β<sub>i</sub> = parâmetros do modelo ajustado (i=0, 1, 2...n); p = potências testadas; e ε<sub>i</sub> = erro de estimativa.

**Tabela 3.** Estatísticas usadas para avaliação das estimativas parciais de diâmetro e volumes.

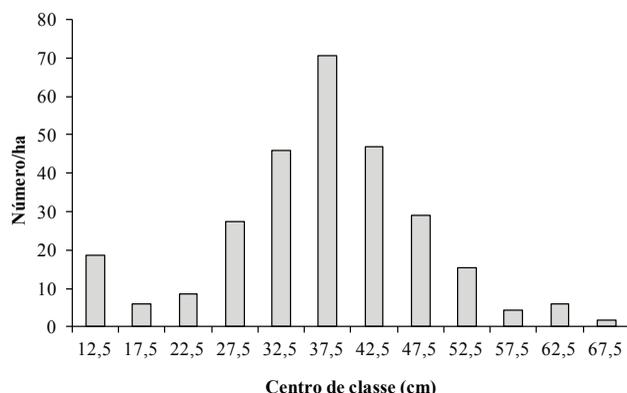
Estatística	Estimador
Viés ( <i>V</i> )	$v = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n \hat{y}_i}{n}$
Média das diferenças absolutas ( <i>MD</i> )	$MD = \frac{\sum_{i=1}^n  y_i - \hat{y}_i }{n}$
Desvio padrão das diferenças ( <i>DPD</i> )	$DPD = \sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \right)^2}{n} \right) / n - 1}$

Em que:  $Y_i$  = valor observado e  $\hat{Y}_i$  = valor estimado; n = número de observações; e  $d_i = (Y_i - \hat{Y}_i)$ .

### Resultados e discussão

Um total de 329 árvores foram medidas, correspondendo em média a 280,3 indivíduos por hectare. O povoamento apresentou dap médio de 37 cm ± 11 cm, mediana de 37,88 cm e moda de 39,15 cm.

Após avaliação dos dados de diâmetro do povoamento, foi possível verificar a existência de alta frequência de árvores de diâmetros reduzidos, entre 10 cm e 15 cm. Visando mostrar o comportamento deste grupo de árvores, optou-se por demonstrar a distribuição dos diâmetros do povoamento reduzindo a amplitude de classe para 5 cm, sendo distribuídas em 12 classes diamétricas, variando de 10 cm a 70 cm (Figura 1).



**Figura 1.** Distribuição de frequências em classes diamétricas para *Araucaria angustifolia*.

Os valores de curtose/achatamento (0,458) e assimetria (-0,189) indicam uma distribuição do tipo platicúrtica com assimetria negativa. Segundo Machado et al. (2006), com o aumento do diâmetro e a redução do número de árvores por hectare, as curvas de distribuição diamétrica tendem a se deslocar para a direita e se

tornarem mais achatadas à medida que o povoamento se torna mais velho, com ligeira influência do sítio, sendo essas características confirmadas em estudos como o de Nogueira et al. (2006) em povoamento de *Tectona grandis* no Mato Grosso e Téio et al. (2011) em povoamento de *Pinus taeda* em Santa Catarina.

Apesar de o povoamento apresentar distribuição com topo achatado e assimetria moderada, observaram-se indícios de que se encontra estagnado, uma vez que, com assimetria negativa, há um maior número de árvores nas classes diamétricas abaixo do diâmetro médio, considerado baixo para um povoamento com idade superior a 65 anos. Configuração semelhante foi observada por Machado et al. (2009) para indivíduos de *Araucaria angustifolia*, provenientes de censo realizado em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista de 15,24 ha, localizado no estado do Paraná, e por Zanon et al. (2009) em avaliação de um plantio de 60 anos de *Araucaria angustifolia*, que sofreu 4 desbastes, localizado na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, Estado do Rio Grande do Sul, porém não apresentaram frequência maior na primeira classe de diâmetro, antes de iniciar ascensão da curva até atingir o centro de classe de diâmetro médio.

Muitos autores enfatizam a necessidade de ocorrência de algum distúrbio para que *Araucaria angustifolia* regenere naturalmente (Soares, 1979; Souza et al., 2008; Orellana, 2014). A ocorrência de distúrbio, de forma a favorecer a incidência de luz no sub-bosque da floresta, pode ser seguida imediatamente por uma fase de plântulas, caracterizando uma coorte, como relatado por Ogden (1985) e Claessens et al. (2006).

O conceito de coorte é utilizado para designar um conjunto de indivíduos que foi submetido ao mesmo evento, e que são observados durante um mesmo período de tempo (Ryder, 1965). A presença de coortes, em estudos de povoamentos florestais após distúrbio, foi relatada para diferentes espécies, como em *Agathis australis* (D. Don) Lindl. ex Loudon (Ogden, 1985; Claessens et al., 2006), *Swietenia macrophylla* King (Gullison et al., 1996), *Pinus ponderosa* Dougl. (O'Hara, 1996).

Sabe-se que a área em estudo apresenta histórico de exploração madeireira, com desbastes registrados entre as décadas de 1970 e 1980, não se tendo, entretanto, controle das intensidades e de como foram realizados. Dessa forma, a intensidade com que a exploração interferiu na distribuição dos indivíduos desse povoamento se torna de difícil mensuração, devido à amplitude de tempo e

falta de dados para formalizar uma conclusão. O que se pode afirmar é que o povoamento encontra-se estagnado, em autocompetição, uma vez que é observado um grande número de indivíduos de pequenas dimensões para um povoamento com a idade em que se encontra.

Portanto, a ocorrência de coorte na primeira classe de diâmetro (centro de classe de 12,5 cm) provavelmente é decorrente da abertura de clareiras resultantes do desbaste ocorrido entre as décadas de 1970 e 1980. Pode-se questionar que após 35 a 45 anos, os indivíduos oriundos da regeneração poderiam ter atingido dimensões maiores. No entanto, a taxa de crescimento em diâmetro é determinada pelo espaço de crescimento de que a árvore dispõe, sendo o espaço de cada árvore limitado pelas árvores vizinhas, levando a competição ao nível das copas e das raízes (Hiley, 1959), que causa a diminuição do crescimento ou até mesmo a eliminação de indivíduos no povoamento (Schneider & Schneider, 2008). Além disso, as árvores ingressantes começam a vida em desvantagem competitiva e são propensas a serem dominadas pela concorrência antes da coorte atingir a maturidade (Ogden, 1985). Assim, mesmo após o distúrbio ocasionado no passado, como o povoamento se encontra estagnado devido à falta de manejo, não houve espaço vital suficiente para o desenvolvimento dos novos indivíduos, dificultando o incremento diamétrico.

De acordo com Claessens et al. (2006), após atingir a senescência, há uma redução de densidade de indivíduos, e as árvores que tendem a permanecer são as de grande porte. Apesar disso, novas coortes podem se estabelecer, até que um novo evento de perturbação comece o ciclo novamente, uma vez que os distúrbios exógenos em larga escala podem causar um retorno à fase inicial da coorte. Porém, segundo Paludo et al. (2009), como a *Araucaria angustifolia* é uma espécie longeva, mesmo que seja observada a regeneração natural sob a floresta, ela pode manter baixo número de indivíduos regenerantes na população.

A distribuição observada no presente estudo, no entanto, apresenta coorte no início da distribuição. A partir daí a distribuição apresenta-se unimodal. Segundo Prodan (1968), numa representação gráfica essa distribuição se apresenta de forma que as maiores frequências concentram-se nos valores médios e as menores nos valores extremos, sendo característica de plantios homogêneos em espécie e idade, mesmo que tenha atingido um limite superior da capacidade de crescimento fisiológico, como é o caso do povoamento em estudo.

Segundo Scolforo et al. (1998) curvas com características multimodais de distribuição não são biologicamente importantes, pois normalmente são distribuições forçadas. No entanto, o povoamento em questão, apesar de ter apresentado duas modas, após a primeira classe apresentou-se com característica unimodal, representando provavelmente os indivíduos originais da implantação do povoamento. Dessa forma, foram testadas funções densidade de probabilidade tradicionalmente empregadas no meio florestal a fim de verificar qual a de melhor ajuste na distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* no povoamento em estudo.

#### Avaliação das funções densidade de probabilidade ajustadas

Para todas as funções testadas, os valores calculados do teste de Kolmogorov-Smirnov indicam a aceitação da hipótese de nulidade quando menores que o tabelado, significando que as frequências esperadas e observadas são similares sob do ponto de vista estatístico, ou seja, os modelos representaram bem o conjunto de dados (Tabela 4).

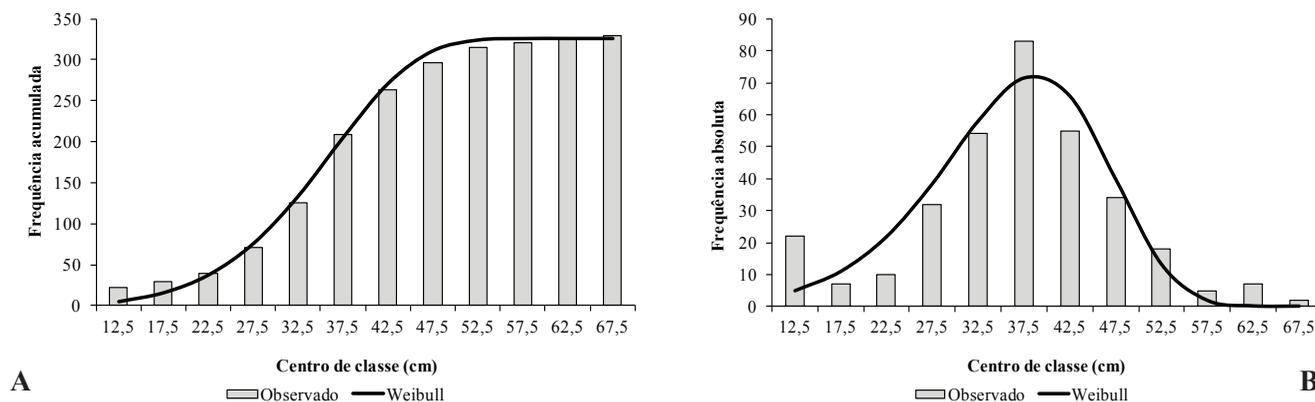
**Tabela 4.** Teste de Kolmogorov-Smirnov para as funções densidade de probabilidade testadas, e seus respectivos parâmetros ajustados.

<i>fdp</i>	Parâmetros	D cal
Weibull-3P	a	-25,14907
	b	65,1365
	c	7,7224
Normal	$\mu$	37,7874
	$\sigma$	8,8277
Log-normal	$\mu$	3,6544
	$\sigma^2$	0,2296
Gama	$\alpha$	19,4022
	$\beta$	2,0127
Beta	$\alpha$	6,2384
	$\beta$	6,1115
Sb Johnson	$\epsilon$	27,3219
	$\lambda$	3047,2219
	$\delta$	-2744,2659
	$\gamma$	-64,2085
Weber	a	24,1699
	b	1,2436
	c	0,0029
	d	299,0112

<sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 95% de probabilidade (D<sub>tab</sub> = 0,075)

A função Weibull-3P foi a que apresentou menor valor de  $D_{calculado}$ , mostrando menor diferença entre o valor observado e o estimado para o ponto de máxima divergência. Com a representação das curvas de distribuição diamétrica estimadas em relação ao

histograma de frequências observadas acumuladas e absolutas, foi possível verificar o melhor ajuste com a função de Weibull-3P, apresentando melhor aderência às frequências observadas (Figura 2).



**Figura 2.** Curvas de distribuição diamétrica estimadas sobre o histograma de frequências observadas acumuladas (A) e frequências observadas absolutas (B).

De acordo com Campos & Leite (2009), as funções densidade de probabilidade mais utilizadas em modelos de distribuição diamétrica são as funções Weibull, Sb de Johnson, Gama e Beta, das quais destaca-se a função Weibull. Seu favoritismo se dá por sua relativa simplicidade e flexibilidade em representar tendências (Bailey & Dell, 1973).

Bailey & Dell (1973) fizeram uso da distribuição Weibull para determinar o número de árvores em classes diamétricas, permitindo ajuste satisfatório das distribuições decrescentes e unimodais, enfatizando que muitos modelos têm sido propostos, porém nenhum exibe as características desejáveis como a Weibull, podendo, devido à habilidade para assumir uma variedade de formas, torná-la também apropriada para ser usada com sucesso em outros modelos biológicos.

Outros autores obtiveram êxito ao utilizar a função de Weibull podendo-se citar, Machado et al. (1998) para *Araucaria angustifolia*, Arce (2004) para plantio de *Populus deltoides*, Eisfeld et al. (2005) para *Pinus taeda*, Leite et al. (2006) e Nogueira et al. (2006) em povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste.

O ajuste dessas funções resulta em uma ferramenta para quantificação futura da distribuição diamétrica, quando analisada em conjunto com informações de crescimento em diâmetro, possibilitará prognoses caso o povoamento continue com as características atuais de competição e não sofra intervenções silviculturais no período de avaliação.

Assim, o emprego de funções densidade de probabilidade para estimar as frequências esperadas em cada classe de diâmetro e assim estimar o número de árvores por hectare por classe de diâmetro nas idades presente e futura é a principal característica dos modelos de distribuição diamétrica utilizados no meio florestal (Campos & Leite, 2009; Scolforo, 2006). E, embora impliquem em uma simplificação da realidade, permitem obter um diagnóstico da distribuição diamétrica das árvores que compõem a floresta (Pulz et al., 1999).

### Ajuste e avaliação de desempenho de modelos de relação hipsométrica

A *Araucaria angustifolia* apresenta várias formas de copa conforme sua idade, e a quantidade de luz disponível nos diferentes estratos da floresta, ou seja, a concorrência entre as árvores altera a porcentagem de copa viva em relação à altura total (Seitz, 1986). Portanto, povoamentos com alta competição podem ocasionar muita variabilidade com o avanço da idade. Como o povoamento em estudo encontra-se em alta competição, não foi observado um padrão para as proporções de copa viva, e conseqüentemente para a altura total. Por esse motivo, optou-se por utilizar a altura do fuste para o ajuste das funções hipsométricas.

As estimativas dos parâmetros para os modelos hipsométricos foram significativas a 95% de probabilidade pelo teste “t” para a maioria dos modelos testados (Tabela 2), exceto para o modelo de Naslund

(3), para a altura do fuste e para os modelos de Naslund (1 e 3) para o ajuste da altura comercial.

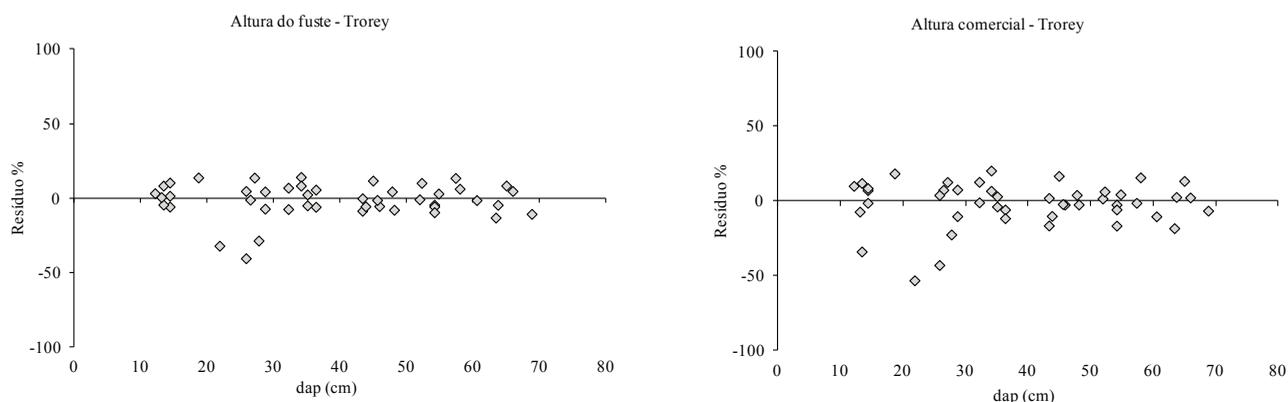
A partir da análise estatística dos modelos com parâmetros significativos, tanto para a altura comercial como do fuste, obteve-se valores para o erro entre 9,85% e 13,76%, e coeficientes de determinação ajustado entre 0,58 e 0,80. Estudos semelhantes com *Araucaria angustifolia* foram realizados por

Caldeira et al. (2003) e Machado et al. (2008), sendo relatados erros semelhantes ou superiores ao obtido nesse trabalho.

Com base na classificação das estatísticas V, MD e DPD, bem como com base no menor  $S_{yx}$  % e maior  $R^2_{ajust}$  (Tabela 5), e distribuição dos resíduos (Figura 3), o melhor modelo para o ajuste de altura do fuste e comercial para o presente trabalho, foi o de Trorey.

**Tabela 5.** Modelo de Trorey e estatísticas para estimar a altura do fuste e comercial.

	Equação	$R^2_{ajust}$	$S_{yx}$ %	V	MD	DPD
Altura do fuste	$h=6,8635+0,5098d-0,0036d^2$	0,8010	9,85	1,31E-15	1,5577	2,0136
Altura comercial	$h=6,5350+0,4093d-0,0032d^2$	0,6561	12,39	4,09E-15	1,5995	2,0977



**Figura 3.** Distribuição dos resíduos para estimativa da altura do fuste e comercial para o modelo de relação hipsométrica pelo modelo de Trorey.

Avaliando o ajuste de modelos de relação hipsométrica em plantios de *Araucaria angustifolia* na Floresta Nacional de Irati, com idade semelhante ao povoamento em estudo, Figueiredo Filho et al. (2010) observaram o melhor desempenho para o modelo de Curtis, com coeficiente de determinação ajustado igual a 0,87. No entanto o erro foi de 16%, superior ao do presente trabalho. Apesar da idade semelhante, as diferenças na precisão dos ajustes podem ser decorrentes de outras causas, como diferenças de sítio, espaçamento inicial, desbastes no povoamento, variabilidade genética, dentre outras.

Não somente para o modelo de melhor desempenho selecionado, como também para os demais, houve superioridade na estimativa da altura do fuste em relação à altura comercial. O povoamento em estudo encontra-se em intensa competição, de forma a não exibir um padrão para o comprimento das copas vivas (Seitz, 1986), sendo o ajuste da altura comercial mais

susceptível a erros. Por outro lado, a altura do fuste, considerada como a distância vertical ao longo do eixo da árvore definida entre a superfície do solo e a base da copa (Loetsch et al., 1973), é bem evidente na *Araucaria angustifolia*.

De acordo com Machado et al. (2008), a relação hipsométrica para a variável altura do fuste é determinada da mesma forma que para a altura total, apesar da altura de fuste não ser uma variável determinada pela biologia da espécie como a altura total, uma vez que um indivíduo que cresce de forma isolada terá uma altura de fuste menor que um indivíduo que vive associado a outros em uma floresta ou povoamento. Assim, se a relação hipsométrica para altura total (ht) é afetada pela espécie, posição sociológica, idade, tamanho de copa, densidade, sítio e práticas silviculturais em geral, ocorre o mesmo com a relação entre as variáveis altura de fuste e diâmetro (hf/d).

### Ajuste e avaliação de desempenho de modelos volumétricos e de afilamento

Em modelos de regressão, cada parâmetro associado a variáveis independentes ( $\beta_1 \dots \beta_n$ ), representam a inclinação da variável dependente (Y) em relação à variável independente (X) a ele relacionada, já o parâmetro  $\beta_0$  representa o valor médio de Y quando as variáveis independentes (Xis) são iguais a zero, sendo a interseção de Y. Assim, o parâmetro  $\beta_0$  não está diretamente associado a nenhum valor de X (Levine et al., 2000). Portanto, quando o parâmetro  $\beta_0$  é não significativo não prejudica a estimativa da variável. Os valores significativos dos demais parâmetros refletem a importância de cada variável independente no processo de estimação das variáveis dependentes.

As equações referentes aos modelos de Hohenadl e Krenn, Brenac, Stoate, Naslund (1), Meyer e Spurr apresentaram p-valores superiores ao valor crítico ( $\alpha \leq 0,05$ ) para pelo menos um dos parâmetros associados às variáveis independentes. Para o volume do fuste, além dos modelos já citados, Spurr-Variável combinada também apresentou parâmetros não significativos.

Os demais modelos volumétricos, quando apresentaram algum p-valor superior ao valor crítico ( $\alpha$

$\leq 0,05$ ), foram apenas para o parâmetro  $\beta_0$ . Portanto, para escolher o melhor modelo para estimativa do volume comercial, procedeu-se à análise estatística apenas para os modelos Kopecky-Gehrhardt, Husch, Spurr sem  $\beta_0$ , Spurr-Variável combinada e Schumacher e Hall, e para o volume do fuste, todos esses citados, exceto o modelo de Spurr-Variável combinada.

Para as equações de afilamento, todos os parâmetros apresentaram p-valores inferiores ao valor crítico ( $\alpha \leq 0,05$ ).

O modelo volumétrico de Schumacher e Hall foi o melhor para estimar volume comercial e volume do fuste tanto para o ajuste geral como em cada classe. Já para os modelos de afilamento, o polinômio de potências inteiras e fracionárias estimou melhor o diâmetro ao longo do tronco e o volume comercial; o polinômio de 5º grau estimou melhor o volume ao longo do fuste e o volume total do fuste. Os parâmetros para os modelos selecionados encontram-se na Tabela 6, e as estatísticas na Tabela 7. A seleção do melhor modelo também foi realizada com base na distribuição gráfica de resíduos, que se apresentaram sem tendenciosidade para todos os modelos selecionados.

**Tabela 6.** Valores das estimativas dos parâmetros de cada equação selecionada, para os dados por classe diamétrica e geral.

Modelo		$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$\widehat{\beta}_3$	$\widehat{\beta}_4$	$\widehat{\beta}_5$
Schumacher e Hall para volume comercial	Geral	-9,4957*	2,0527*	0,8153*			
	Classe 1	-9,4964*	2,0376*	0,8285*			
	Classe 2	-9,1248*	1,9693*	0,8011*			
	Classe 3	-8,3009*	1,9799*	0,5075*			
Schumacher e Hall para volume do fuste	Geral	-9,7450*	1,9690*	0,9692*			
	Classe 1	-9,9670*	1,9589*	1,0590*			
	Classe 2	-9,4980*	1,8490*	1,0405*			
	Classe 3	-8,0265*	2,0048*	0,3790*			
Polinômio do 5º grau	Geral	1,0867*	-2,0859*	11,2029*	-32,3936*	41,3408*	-19,1422*
	Classe 1	1,1338*	-2,7477*	15,4139*	-43,4389*	53,4193*	-23,7654*
	Classe 2	1,0766*	-2,0874*	11,4110*	-32,9875*	42,2027*	-19,6099*
	Classe 3	1,0586*	-1,6108*	7,4792*	-21,4652*	28,2730*	-13,7322*
Polinômio das potências inteiras e fracionárias	Geral	1,0997*	-0,1688*	-0,5243*	-0,4064		
	Classe 1	8,4639*	-0,1930*	-7,5363*	-1,2312*	-0,2739*	0,7705*
	Classe 2	-1,7291*	-0,1629*	2,9240*	-0,5342*	-0,4975*	
	Classe 3	1,0794*	-0,1669*	-0,5262*	-0,3865*		

\*significativo a 95% de probabilidade pelo teste t; ns não significativo a 95% de probabilidade pelo teste t.

**Tabela 7.** Estatísticas das equações, por classe diamétrica e geral, para estimar o diâmetro e volume ao longo do fuste, volume comercial e volume total do fuste.

<b>Equações volumétricas</b>					
	<b>R<sup>2</sup><sub>ajust</sub></b>	<b>S<sub>yx</sub> %</b>	<b>V</b>	<b>MD</b>	<b>DPD</b>
<b>Volume comercial - Schumacher e Hall</b>					
Geral	0,9839	10,56	-0,0339	0,0976	0,1840
Classe 1	0,9898	7,59	0,0001	0,0173	0,0259
Classe 2	0,9769	5,29	-0,0042	0,0632	0,0846
Classe 3	0,8249	10,07	-0,1672	0,2287	0,3105
Classes	0,8822	1,44	-0,0523	0,0976	0,1822
<b>Volume do fuste - Schumacher e Hall</b>					
Geral	0,9793	12,05	-5,2393E-02	0,1104	0,2235
Classe 1	0,9956	5,00	-6,7740E-04	0,0116	0,0180
Classe 2	0,9803	4,84	-4,3840E-03	0,0566	0,0825
Classe 3	0,7705	11,32	-2,3656E-01	0,2982	0,3527
Classes	0,8487	1,54	-7,3757E-02	0,1145	0,2154
<b>Equações de afilamento</b>					
	<b>R<sup>2</sup><sub>ajust</sub></b>	<b>S<sub>yx</sub> %</b>	<b>V</b>	<b>MD</b>	<b>DPD</b>
<b>Diâmetro - Polinômio das potências inteiras e fracionárias</b>					
Geral	0,9943	4,14	-0,1314	0,8790	1,2800
Classe 1	0,9944	4,34	-0,0348	0,4937	0,7122
Classe 2	0,9935	3,38	-0,0381	0,7836	1,0938
Classe 3	0,9876	3,66	-0,0179	1,2299	1,7410
Classes	0,9912	3,89	-0,0311	0,8095	1,2087
<b>Volume ao longo do fuste - Polinômio do 5º grau</b>					
Geral	0,9950	8,84	-0,0172	0,0357	0,0761
Classe 1	0,9961	6,77	-0,0030	0,0071	0,0116
Classe 2	0,9963	5,10	-0,0031	0,0266	0,0409
Classe 3	0,9934	6,41	-0,0038	0,0639	0,1185
Classes	0,9940	7,69	-0,0033	0,0304	0,0678
<b>Volume comercial - Polinômio das potências inteiras e fracionárias</b>					
Geral	0,9936	8,03	-0,0268	0,0795	0,1385
Classe 1	0,9939	6,69	-0,0035	0,0126	0,0225
Classe 2	0,9787	5,51	-0,0128	0,0627	0,0871
Classe 3	0,9884	7,43	-0,0141	0,1621	0,2736
Classes	0,9897	7,48	-0,0099	0,0736	0,1312
<b>Volume do fuste - Polinômio do 5º grau</b>					
Geral	0,9939	8,21	-0,0214	0,0882	0,1533
Classe 1	0,9958	5,59	-0,0014	0,0110	0,0201
Classe 2	0,9749	6,20	-0,0024	0,0735	0,1061
Classe 3	0,9899	7,86	0,0177	0,1695	0,3130
Classes	0,9908	7,60	0,0038	0,0790	0,1434

Hoogh et al. (1978), utilizando dados de *Araucaria angustifolia*, com idades variando de 5 a 46 anos, selecionaram dentre várias equações de volume, a de Spurr-variável combinada, enquanto Hosokawa et al. (1980), em plantio de *Araucaria angustifolia*, em Misiones, Argentina, recomendaram o uso do modelo de Spurr. Conforme discutido por Lima (1986) a flexibilidade de funções de afilamento e a forma do perfil do tronco de cada espécie são os fatores que mais determinam a eficiência deste tipo de função. Do mesmo modo, a eficiência de modelos volumétricos pode variar entre espécies, sítios e idade. Einfeld et al. (2008), ao comparar o modelo de afilamento de Hradetzky, na estimativa do volume total de *Araucaria angustifolia*, com o modelo de volume de Spurr-variável combinada, constatou que embora apresentasse boas estatísticas, a distribuição porcentual dos resíduos do modelo de Spurr-variável combinada superestimou os volumes na classe de menores diâmetros.

Semelhante ao obtido no presente trabalho, o modelo de Schumacher e Hall foi recomendado por Mattos et al. (2010) para estimar volume comercial para *Araucaria angustifolia*, em remanescente de Floresta Ombrófila Mista (FOM), na região de Caçador, SC, e por Oliveira et al. (2011) para estimar volume do fuste, em um plantio de *Araucaria angustifolia* estabelecido em 1967, em Rio Negro, PR. O modelo de Schumacher e Hall também apresentou bom desempenho para a estimativa de volume em plantios de outras coníferas, podendo-se citar *Pinus* spp. (Machado et al., 2002; Thomas et al., 2006).

Entre os vários modelos existentes para expressar o volume de madeira, o modelo proposto por Schumacher & Hall (1933) tem sido um dos mais difundidos na área florestal, por suas propriedades estatísticas, uma vez que resulta em estimativas quase sempre não tendenciosas

(Campos & Leite, 2009). Em comparação com os demais modelos testados, ele é o único que estima o volume utilizando a altura e o dap nas formas originais, gerando um parâmetro para cada variável e guardando a mesma estrutura da fórmula do volume do cilindro, porém com a correção da forma distribuída nas potências de cada uma das variáveis do modelo e também na constante que gera a base do cilindro. Equações volumétricas podem apresentar bom desempenho nas estimativas de volume, no entanto, de acordo com Prodan et al. (1997), os modelos de afilamento permitem estimar o diâmetro em qualquer ponto do fuste, a altura total ou a altura em que se encontra um diâmetro especificado no fuste e o volume entre pontos quaisquer do fuste.

O polinômio de potências inteiras e fracionárias apresentou o melhor desempenho para estimar o diâmetro ao longo do fuste em *Pinus* spp. (Assis et al., 2002; Machado et al., 2004; Silva et al., 2011). E o polinômio de 5º grau foi utilizado por Burger et al. (1980) para descrever o perfil de *Araucaria angustifolia*, com excelentes resultados.

Considerando os valores obtidos para as estatísticas (Tabela 7), observam-se melhores resultados do ajuste para os modelos estratificados por classe em relação ao ajuste geral para a estimativa de todas as variáveis. Isso foi destacado por Rosot et al. (1990), que observaram melhores resultados para as estimativas de volume de *Pinus taeda* pelo polinômio de 5º grau e por potências inteiras e fracionárias realizadas em diferentes classes diamétricas.

Com a seleção dos melhores modelos volumétricos e de afilamento, procedeu-se o teste de identidade entre modelos conforme proposto por Graybill (1976). Este teste foi realizado para verificar a necessidade do ajuste de equações estratificando os dados em classes (Tabela 8).

**Tabela 8.** Teste de identidade entre modelos.

	<b>Modelos completos</b>	<b>Modelo reduzido</b>	<b>F</b>
Schumacher e Hall – Volume comercial	1+2+3	(123)	6,063*
Schumacher e Hall – Volume fuste	1+2+3	(123)	5,048*
Polinômio do 5º grau	1+2+3	(123)	54,021*
Polinômio das potências inteiras e fracionárias	1+2+3	(123)	65,096*

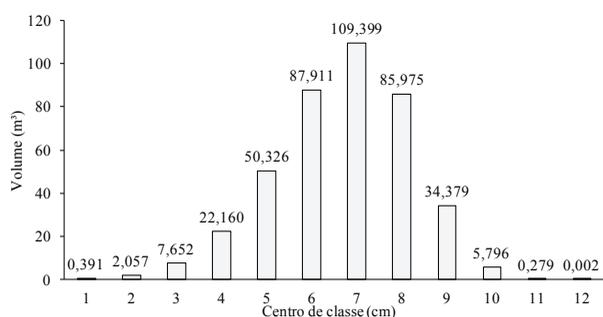
Em que: ns e \*: não significativo e significativo pelo teste F de Graybill, a 95% de probabilidade, respectivamente. 1 = Classe 1 (10-30 cm), 2 = Classe 2 (30-50 cm), 3 = Classe 3 (50-70 cm).

O resultado significativo ao comparar o ajuste estratificando os dados em três classes e o ajuste das classes conjuntamente, implica na diferença entre os modelos. Com base na diferença estatística observada entre os modelos, e uma vez que se trata de um povoamento com grande amplitude diamétrica, o uso de modelo único com parâmetros comuns não é o recomendado para o povoamento, mostrando a importância de se utilizar modelos estratificando os dados em classes, para se obter o modelo que melhor represente a variação de volume das árvores do povoamento.

Além disso, o ajuste por classe de diâmetro é recomendado, pois é uma forma de reduzir variabilidade, conforme também observado por outros autores (Rosot et al., 1990; Silva, 1994; Assis et al., 2001; Santos et al., 2006).

### Quantificação do volume total do povoamento

Aplicando-se a função densidade de probabilidade de Weibull-3P, a relação hipsométrica obtida pelo modelo de Trorey para obtenção da altura do fuste e o polinômio do 5º grau para obtenção do volume do fuste, foi possível quantificar o estoque madeireiro do povoamento de *Araucaria angustifolia* em estudo (Figura 4).



**Figura 4.** Distribuição do volume total/hectare em classes diamétricas para *Araucaria angustifolia*.

De forma semelhante ao observado para a distribuição de frequência diamétrica (Figura 1), percebe-se grande concentração de volume nas classes intermediárias, além de indivíduos distribuídos em classes de diâmetro pequenas, com indicativos de povoamento não manejado.

Verificou-se que o povoamento apresenta, em média, 406,33 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> de volume de fustes, o que resulta em um incremento de 6,2 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, desconsiderando o volume retirado no desbaste realizado nas décadas de

1970 e 1980, pois não se teve controle do mesmo. Uma vez que é admissível esperar um incremento volumétrico de 10 a 23 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Webb et al., 1984) e em casos excepcionais de 30 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> com casca (Carvalho 2003), então o povoamento devido ao longo período sem manejo apresenta baixa produtividade, de forma que intervenções devem ocorrer visando o favorecimento de árvores remanescentes.

Em situação de plantio manejado adequadamente, com o aumento da idade e a condução de desbastes a distribuição de indivíduos estaria representada com deslocamento para a direita (Machado et al., 2006; Nogueira et al., 2006, Téó et al., 2011), podendo-se esperar volume de madeira, principalmente para os indivíduos nas maiores classes diamétricas, muito superior ao observado nas condições atuais, considerando o mesmo ciclo do povoamento em estudo.

### Conclusões

A distribuição diamétrica demonstra a condição de povoamento estagnado em competição, com corte no início da distribuição diamétrica decorrente da abertura de clareiras resultantes do desbaste ocorrido entre as décadas de 1970 e 1980, e a partir daí apresenta-se unimodal.

A aplicação da função densidade de probabilidade de Weibull-3P, do modelo de Trorey e do polinômio do 5º grau por classe diamétrica, possibilitou a estimativa do potencial madeireiro do povoamento distribuído em classes diamétricas. Essa análise indicou que estando em condições de povoamento superestocado, o plantio apresenta produção volumétrica média anual muito abaixo do potencial da espécie, sendo recomendável condução de desbaste para favorecimento de árvores remanescentes.

Com a função densidade probabilidade selecionada, Weibull-3P, é possível projetar a distribuição diamétrica do povoamento, quando analisada de forma complementar com informações de crescimento em diâmetro, caso este permaneça não manejado.

Certamente, o potencial ótimo de produção madeireira poderia ter se manifestado em situação onde a condução de manejo ocorresse durante todo o ciclo previsto.

### Referências

ANUCHIN, N. P. **Forest Mensuration**. 2nd ed. Jerusalem: Kiter Press, 1970. 454 p.

- ARCE, J. E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* Marsh através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 14, p. 149-164, 2004.
- ASSIS, A. L.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. Comparação de modelos polinomiais segmentados e não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 20-42, 2001.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia**: teoria e prática. Pelotas: Ed. da UFPel, 1996. 161 p.
- ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 12, n. 1, p. 89-107, 2002.
- BAILEY, R. L.; DELL, T. R. Quantifying diameter distribution with the Weibull function. **Forest Science**, Lawrence, v. 19, n. 2, p. 97-104, 1973.
- BURGER, D.; HOSOKAWA, R. T.; MACHADO, S. A. Desenvolvimento da forma de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: IUFRO, PROBLEMAS FLORESTAIS DO GÊNERO ARAUCARIA, 1980, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1980. p. 320-329.
- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SCHEEREN, L. W.; WATZLAWICK, L. F. Relação hipsométrica para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na região oeste do estado do Paraná. **Acadêmica**: Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 79-88, 2003.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 548 p.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1. 1039 p.
- CLAESSENS, L.; VERBURG, P. H.; SCHOORL, J. M.; VELDKAMP, A. Contribution of topographically based landslide hazard modelling to the analysis of the spatial distribution and ecology of Kauri (*Agathis australis*). **Landscape Ecology**, Dordrecht, v. 21, p. 63-76, 2006.
- CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENNAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management**: a quantitative approach. New York: John Wiley and Sons, 1983. 333 p.
- DEMAERSCHALK, J. P. Converting volume equations to compatible taper equations. **Forest Science**, Lawrence, v. 18, n. 3, p. 241-245, 1972.
- DIETRICH, A. B. **Relações entre dados analíticos do solo**: análise foliar e dados de crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. 1979. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba..
- EISFELD, R. L.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; MAESTRI, R.; WEBER, K. S. Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L. por meio de função probabilística. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 2, p. 317-328, 2005.
- EISFELD, R. L.; VIGOLO, D. Z.; SANQUETTA, C. R.; MELLO, A. A. Modelo de Hradetzky aplicado à estimativa do volume total para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 51-66, 2008.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH K. L. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 83, p. 39-46, 1996.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; KOHLER, S. V.; VERUSSA, A. A.; CHIQUETTO, A. L. Evolution of the hypsometric relationship in *Araucaria angustifolia* plantations in the mid-south region of Paraná state. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 347-357, 2010.
- GORGENS, E. B.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; GLERIANI, J. M. Estimativa do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1141-1147, 2009.
- GRAYBILL, F. A. **Theory and Application of the Linear Model**. Belmont: Duxbury Press, 1976. 704p.
- GULLISON, R. E.; PANFIL, S. N.; STROUSE, J. J.; HUBBELL, S. P.; Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in the Chimanes Forest, Beni, Bolivia. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 122, p. 9-34, 1996.
- HILEY, W. E. **Conifers**: South African methods of cultivation. London: Faber and Faber, 1959. 123 p.
- 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, DF, v. 9, n. 36, p. 58-82, 1978.
- HOSOKAWA, R. T.; MARADEI, D.; MOREIRA, R. M.; HARO, J. A. L.; DIAS, N. F.; KESIKOWSKI, H. Modelos matemáticos para volumetria de *Araucaria angustifolia* em Misiones (Celulosa Argentina). In: IUFRO, PROBLEMAS FLORESTAIS DO GÊNERO ARAUCARIA, 1980, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1980. p. 332-338.
- HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statistischer abränger keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellen forschungs projekten)**. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146 p. (Abt. Biometric und Informatik, 21).
- HUSCH, B.; MILLER, I. C.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York: John Wiley, 1982. 402 p.
- INVENTÁRIO florestal: FLONA de Açungui: 4ª versão. Curitiba: Serviço Florestal Brasileiro; Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2012. 41 p. Relatório técnico (não publicado).
- KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. H. G. Taper functions and their application in Forest inventory. **Forestry Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.
- KRAMER, P. J.; KOSLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; RODRIGUES, F. L. Um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 89-98, 2006.
- LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Estatística**: teoria e aplicações. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000. 811 p.

- LIMA, F. S. **Análise de funções de *Taper* destinadas à avaliação de multiprodutos de árvores de *Pinus elliottii***. 1986. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Reinbek: Federal Research Organization for Forestry and Forest Products, Forest Inventory Section, 1973. 469 p. v. 2.
- MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; MIGUEL, E. P.; TÊO, S. J.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D. Distribution of total height, transverse area and individual volume for *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, 2010.
- MACHADO, S. A.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; NASCIMENTO, R. G. M.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; MIGUEL, E. P.; TÊO, S. J. Distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 103-110, 2009.
- MACHADO, S. A.; BARTOSZEK, A. C. P. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da distribuição diamétrica de bractingais na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 759-768, 2006.
- MACHADO, S. A.; BARTOSZEK, A. C. P. S.; OLIVEIRA, E. B. Estudo da estrutura diamétrica para a *Araucaria angustifolia* em florestas naturais nos estados da região sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 26, n. 1-2, p. 59-70, 1998.
- 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*. **Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185-196, 2002.
- 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**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 55-66, 2000.
- MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÊO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 5-16, 2008.
- MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FIGUEIREDO, J. D. Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa* Schiede. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 48, p. 41-64, 2004.
- MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; BERNDT, E. J.; OLIVEIRA, Y. M. M. **Equação de volume para araucárias centenárias da Reserva Florestal Embrapa/Epagri**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 256).
- NOGUEIRA, G. S.; LEITE, E. G.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H.; COUTO, L. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 377-387, 2006.
- OGDEN, J. An introduction to plant demography with special reference to New Zealand trees. **New Zealand Journal of Botany**, Wellington, v. 23, p. 751-772, 1985.
- O'HARA, K. L. Dynamics and stocking-level relationships of multi-aged ponderosa pine stands. **Forest Science**, Lawrence, v. 42, n. 2, 1996. Monograph 33.
- OLIVEIRA, M. F.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C.; SANTOS, W. C. **Equação de volume para um plantio de *Araucaria angustifolia* em Rio Negro, PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 275).
- ORELLANA, E. **Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de floresta de araucária**. 2014. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- PALUDO, G. F.; MANTOVANI, A.; KLAUBERG, C.; REIS, M. S. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), na Reserva Genética Florestal de Caçador, estado de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1109-1121, 2009.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba, 1997. 316 p.
- PELTONIEMI, M.; MÄKIPÄÄ, R. Quantifying distance-independent tree competition for predicting Norway spruce mortality in unmanaged forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, p. 30-42, 2011.
- PRODAN, M. **Forest biometrics**. Oxford: Pergamon Press, 1968. 447 p.
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F. **Mensura forestal**. San José, Costa Rica: IICA, 1997. 586 p.
- PULZ, F. A.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiana com a matriz de transição. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 1-14, 1999.
- REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 1, p. 1-17, 1996.
- RENNOLLS, K.; GEARY, D. N.; ROLLINSON, T. J. D. Characterizing diameter distributions by the use of the Weibull distribution. **Forestry**, Oxford, v. 58, n. 1, p. 57-66, 1985.
- ROSOT, M. A. D.; MACHADO, S. A.; ROSOT, N. C. Estudo de modelos matemáticos para estimar o volume por hectare em um povoamento de *Pinus taeda* L. em Pirai do Sul - PR. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBS, 1990. v. 3. p. 126-138.
- RYDER, N. B. The Cohort as a concept in the study of social change. **American Sociological Review**, Aliso Viejo, v. 30, n. 6, p. 843-861, 1965.
- SANQUETTA, C. R.; THIELE, P.; CÔRTE, A. P. D. Crescimento, mortalidade e recrutamento de duas Florestas de Araucária no Estado do Paraná, Brasil, no período de 1995-2007. **Naturalia**, Rio Claro, v. 33, p. 117-126, 2010.
- SANTOS, K.; SANQUETTA, C. R.; EISFIELD, R. L. WATZLAWICK, L. F.; ZILLOTTO, M. A. B. Equações volumétricas por classe diamétrica para algumas espécies folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. **Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 8, n. 1, p. 99-112, 2006.

- SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. 2. ed. Santa Maria, RS: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Washington, DC, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p.
- SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil de *Pinus elliottii*. **Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 100-122, 1998.
- SEITZ, R. Crown development of *Araucaria angustifolia* in its natural environment during sixty years. In: CROWN AND CANOPY STRUCTURE IN RELATION TO PRODUCTIVITY, 1986, Ibaraki. **Anais...** Ibaraki: Forestry and Forest, Products Research Institute, 1986. p. 129-146.
- SILVA, F.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 367-376, 2011.
- SILVA, J. A. Equações para estimar a composição percentual do volume de *Eucalyptus* spp. por classe de diâmetro na região do Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 1, p. 80-85, 1994.
- SILVER, E. J.; D'AMATO, A. W.; FRAVER, S.; PALIK, B. J.; BRADFORD, J. B. Structure and development of old-growth, unmanaged second-growth, and extended rotation *Pinus resinosa* forests in Minnesota, USA. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 291, p. 110-118, 2013.
- SOARES, R. V. Considerações sobre a regeneração natural da *Araucaria angustifolia*. **Floresta**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 12-18, 1979.
- SOUZA, A. F.; FORGIARINI, C.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, Paris, v. 34, p. 221-232, 2008.
- TÉO, S. J.; ROCHA, S. P.; BORTONCELLO, A. C.; PAZ, R. A.; COSTA, R. H. Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda*, na região de Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 183-192, 2011.
- 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, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.
- ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Proporção da diócia e distribuição diamétrica de árvores masculinas e femininas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 19, n. 4, p. 425-431, 2009.
- WEBB, D. B.; WOOD, P. J.; SMITH, J. P.; HENMAN, G. S. **A guide to species selection for tropical and subtropical plantations**. 2nd ed. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1984. 256 p. (Tropical Forestry Papers, 15).

