

## Comportamento probabilístico dos raios das sextas árvores no método de Prodan e estimativas dos parâmetros dendrométricos para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze nativa

Probabilistic performance of the sixth trees radius of Prodan's sampling method and estimation of mensurational parameters for native *Araucaria angustifolia*

Sylvio Péllico Netto<sup>1</sup>, Enrique Orellana<sup>2</sup>, Thiago Floriani Stepka<sup>2</sup>, Rodrigo Lima<sup>2</sup> e Afonso Figueiredo Filho<sup>3</sup>

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento probabilístico dos raios das sextas árvores utilizados no Método de Prodan para a *Araucaria angustifolia*, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista e obter as estimativas de seus parâmetros dendrométricos em ocorrência natural. Os dados utilizados provêm de 25 parcelas permanentes de 1 ha (100 m x 100 m) instaladas na Floresta Nacional de Irati. As árvores foram referenciadas em um plano cartesiano (X,Y) e os pontos amostrais foram selecionados e as medições efetuadas no software ArcGIS. As distribuições probabilísticas dos raios das sextas árvores foram ajustadas pelas funções: Beta, Gama e Weibull 3P e suas médias paramétricas foram utilizadas para estimar o número de árvores por hectare. Para avaliação dos ajustes das funções, foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) e, para a estimativa do volume individual, a equação do Inventário do Pinheiro do Sul do Brasil (FUPEF, 1978). Os resultados indicaram que a função Weibull 3P foi a que melhor representou a distribuição dos raios das sextas árvores, embora a função Beta também tenha apresentado ajuste satisfatório, de acordo com o teste K-S. O número estimado de árvores por hectare, utilizando-se o raio médio paramétrico das distribuições probabilísticas ajustadas, resultou em pequena subestimativa para as distribuições Weibull e Beta e uma superestimativa para a distribuição Gama, em relação ao censo realizado, enquanto que para a área basal houve superestimativa. A estimativa do volume médio por hectare para a araucária, nesse estudo, apresentou valores muito semelhantes aos obtidos em outros locais no estado do Paraná.

**Palavras-chave:** Floresta com araucária; Distribuições de probabilidades; Método de amostragem de área variável.

### Abstract

The objective of this study was to evaluate the probabilistic behavior of the sixth tree radius used in the Prodan Sampling Method for *Araucaria angustifolia*, in a Mixed Ombrophilous Forest fragment, and also get their parameters estimation in its natural occurrence. The data used came from 25 permanent sampling plots of 1 ha (100 m x 100 m), located in the Irati National Forest. Trees were plotted on a Cartesian plane (X;Y) and the sampling points were selected and the measurements were done using the ArcGIS software. The sixth trees radius distribution was fitted to Beta, Gamma and Weibull 3P functions and the parametric mean radius of each distribution was used to estimate the number of trees per hectare. To evaluate the goodness of fit for the used functions the Kolmogorov-Smirnov (K-S) test was applied and for individual volume estimates the equation developed for the araucaria inventory of Southern Brazil (FUPEF, 1978). The results indicated that the 3P Weibull function was the best to represent the distribution of the sixth tree radius, but the Beta function also showed satisfactory results, according to K-S test. The number of trees per hectare obtained by the mean radius of the fitted probability distributions showed a small underestimation for the Weibull distribution and an overestimate through Beta and Gamma distributions related to the census, while for the basal area there was an over-estimation. The estimate of volume per hectare for araucaria showed very similar results to those obtained in other inventories in Parana state.

**Keywords:** Araucaria Forest; Probability distributions; Variable area plot Method.

<sup>1</sup>Doutor em Ciência Florestal, Professor Sênior. UFPR - Universidade Federal do Paraná; Av. Pref. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba, PR. E-mail: [sylviopelliconetto@gmail.com](mailto:sylviopelliconetto@gmail.com)

<sup>2</sup>Doutorando em Ciência Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná, Av. Pref. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba, PR. E-mail: [enriqueorellana@uol.com.br](mailto:enriqueorellana@uol.com.br), [tfstepka@yahoo.com.br](mailto:tfstepka@yahoo.com.br), [rodrigo.eng3@gmail.com](mailto:rodrigo.eng3@gmail.com)

<sup>3</sup>Doutor em Ciência Florestal, Professor Titular. UNICENTRO- Universidade Estadual do Centro Oeste, PR 153, km 7, Riozinho, Irati, - PR, CEP 84500-000. E-mail: [afigfilho@gmail.com](mailto:afigfilho@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

Em um passado recente, o inventário de florestas nativas no Brasil era realizado por meio de simples levantamentos do estoque de indivíduos de grande porte, suscetíveis de serem explorados, resultando numa visão incompleta e, por vezes, distorcida da verdadeira condição de desenvolvimento da floresta (REIS *et al.*, 1994).

Com a evolução da tecnologia e a constante pressão dos órgãos ambientais, os inventários tornaram-se muito mais complexos e informativos. Nesse novo enfoque, os inventários, que na maioria dos casos era utilizado para determinação do volume de madeira existente na floresta, passaram a ser utilizados para determinação de outros aspectos como volume total, volume comercial, estágio sucessional da floresta, avaliação da regeneração natural das espécies, e outras peculiaridades inerentes ao objetivo do inventário florestal.

O inventário florestal é uma atividade que faz uso dos fundamentos da teoria da amostragem, a fim de determinar ou estimar uma dada característica, seja ela quantitativa ou qualitativa, de uma amostra (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). As unidades amostrais são selecionadas conforme o procedimento de um delineamento amostral. Existem diversos estudos na área florestal visando avaliar o desempenho de diferentes procedimentos de amostragem (HIGUCHI, 1986/87; KORNING *et al.* 1991; MACHADO, 1988; SCOLFORO; MELLO, 1997).

A utilização de técnicas de amostragem cuja seleção de árvores se faz com probabilidade proporcional às distâncias, seja de pontos amostrais até árvores na floresta, ou mesmo entre árvores já vem sendo usado no meio florestal há décadas.

Segundo Loetsch *et al.* (1973), as primeiras técnicas de amostragem que utilizaram distâncias na área florestal foram citadas no livro "Die Forst-Mathematik", de autoria de König, em 1835. Este autor, com resultados empíricos, definiu que alguns atributos da floresta, como número de árvores e área basal estavam estreitamente relacionados com a distância entre árvores. Ele desenvolveu um modelo que determinava a área basal por hectare em função da média dos diâmetros da floresta e a distância média entre árvores.

Anos mais tarde, técnicas de amostragem utilizando-se de distâncias entre um ponto definido e árvores na floresta (*k-tree sampling*) começaram a ter espaço na área florestal. De

acordo com Kleinn e Vilcko (2005), Stoffels foi um dos primeiros a propor a utilização dessa técnica para inventários florestais em 1955. O objetivo do seu trabalho foi amostrar o número de árvores, sugerindo, dessa forma, o uso de três árvores como critério de amostragem, sendo que a terceira deveria ser avaliada apenas pela metade, como uma tentativa empírica de compensar a super-estimativa nos resultados que ocorria sistematicamente com o uso dessa técnica de amostragem.

Kleinn e Vilcko (2005) citaram ainda que, com os estudos de Prodan (1968) e Schöpfer (1969a; 1969b) na Alemanha, esta técnica de amostragem foi amplamente difundida em inventários florestais, visando o manejo das florestas.

O método das 6 árvores foi primeiramente apresentado por Prodan (1968) em Freiburg – Alemanha. Esse método considera a medição de 6 árvores e a distância ou raio da sexta árvore como referência da unidade amostral. A decisão sobre o número de árvores medidas na unidade amostral teve como base o comportamento do coeficiente de variação do volume das unidades amostrais à medida que se ampliava nelas o número de árvores observadas. Em seu estudo, Prodan (1968) verificou que o coeficiente de variação se tornava estável a partir da sexta árvore medida e considerou esse o número ótimo para definir sua unidade amostral, uma vez que minimiza o custo para sua medição (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Este método ainda é pouco utilizado em inventários florestais no Brasil, principalmente devido ao desconhecimento de seu potencial de uso e vantagens em relação ao método tradicional (SANQUETTA *et al.*, 2006). Muito embora sua utilização prática seja pouco difundida no Brasil, alguns trabalhos foram realizados e compararam diferentes métodos de amostragem em florestas nativas, inclusive o de Prodan, destacando-se os de Brito *et al.* (2007), Moscovich e Brena (2006), Moscovich *et al.* (1999). Entretanto, cabe ressaltar que a utilização desse método em floresta nativa para quantificação de uma única espécie ainda é incipiente.

O objetivo deste estudo foi quantificar os parâmetros dendrométricos de árvores de araucárias em ocorrência natural, com o uso do Método de Prodan, além de avaliar o comportamento probabilístico dos raios das sextas árvores, em uma Floresta Ombrófila Mista, localizada na Floresta Nacional de Irati, Paraná.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Descrição da Área

A Floresta Nacional (FLONA) de Irati é uma unidade de conservação localizada no Centro-Sul do Paraná, nos municípios de Fernandes Pinheiro e Teixeira Soares, nas coordenadas geográficas 25° 25' de latitude sul, 50° 36' de longitude oeste e 25° 17' de latitude sul, 50° 30' de longitude oeste (IBAMA, 2009).

O clima da região é "Cfb", segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.442 mm e sem estação seca. A temperatura média em janeiro é de 22°C e a de julho fica em torno de 10°C, com mais de cinco geadas por ano. O relevo local é considerado de ondulado a plano. O solo, classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo, apresenta acidez média (DISPERATI *et al.*, 2007).

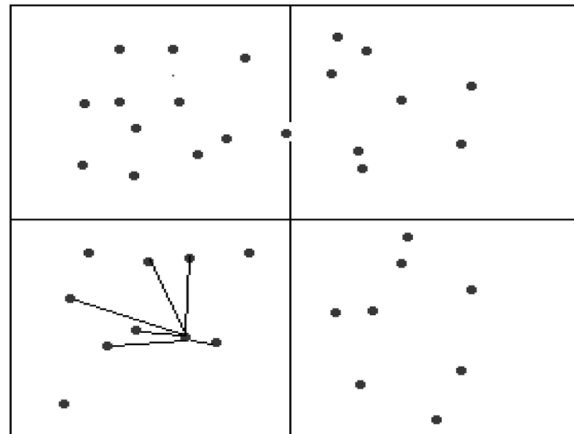
Em 2002 foram instaladas e mensuradas, 25 parcelas permanentes com área de 1 ha (100 m x 100 m) cada uma no fragmento de Floresta Ombrófila Mista existente na FLONA. Essas parcelas foram remedidas em 2005 e 2008 e nas três ocasiões todas as árvores com diâmetro a 1,30 m de altura acima do solo (DAP) igual ou superior a 10 cm foram medidas, identificadas, numeradas e posicionadas espacialmente em um sistema cartesiano (X,Y) de coordenadas locais.

### Coleta de Dados

Os dados das parcelas permanentes foram exportados para o software Arcgis, no qual foram posicionadas as parcelas e medidas as distâncias horizontais das árvores com a utilização da ferramenta apropriada (Measure), uma vez que as árvores estavam referenciadas, em metros, em um plano cartesiano (X,Y) conhecido.

As árvores foram selecionadas (pontos amostrais) buscando-se contemplar toda a área amos-

trada de maneira sistemática, estabelecendo ao menos um ponto em cada subparcela de 50m x 50m (Figura 1). Nas parcelas de 1 ha em que havia um grande número de árvores da espécie, eram tomados dois ou mais pontos por sub-parcela. A amostragem compreendeu um total de 128 pontos amostrais.



**Figura 1.** Esquema ilustrativo de uma parcela de 1 ha (100 m x 100 m) subdividida em 4 sub-parcelas de 50 m x 50 m, onde foram tomados os pontos amostrais.

**Figure 1.** Design illustration of a plot of 1 ha (100 m x 100 m) divided into four sub-plots of 50 m x 50 m where the sampling points were taken.

### Ajuste de Funções Densidade de Probabilidade para a Distribuição de Raios da 6ª árvore aos pontos amostrais estabelecidos

Foram testadas as funções Weibull três parâmetros (Weibull 3P), Beta e Gama (Tabela 1) pelo método da Máxima Verossimilhança, a fim de definir qual das funções melhor se ajustaria à distribuição observada dos raios da 6ª árvore de todos os pontos amostrais. Os dados foram agrupados em classes de cinco metros de amplitude e para a verificação da aderência dos dados reais às distribuições ajustadas, foi utilizado o Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

**Tabela 1.** Funções de densidade de probabilidade empregadas neste estudo.

**Table 1.** Probability density functions used in this study

Distribuição	Formulação	Média da distribuição
Weibull 3 P	$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right]$	$\mu_x = a + b\Gamma\left(\frac{1}{c} + 1\right)$
Beta	$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \cdot \frac{1}{(d_{max} - d_{min})^{\alpha + \beta - 1}} \cdot (d - d_{min})^{\alpha - 1} (d_{max} - d)^{\beta - 1}$ $\begin{cases} d_{min} \leq x \leq d_{max} \\ 0, e.o.c. \text{ I.O.C} \end{cases}$	$\mu_x = d_{min} + \frac{\alpha}{(\alpha + \beta)} \cdot (d_{max} - d_{min})$
Gama	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)}$	$\mu_x = \alpha \cdot \beta$

Em que: a = o parâmetro de localização da distribuição Weibull; b e c = são os parâmetros de escala e forma respectivamente da distribuição Weibull;  $\Gamma$  = a função Gama;  $\alpha$  e  $\beta$  = parâmetros das distribuições Beta e Gama;  $d_{min}$  e  $d_{max}$  = as distâncias mínima e máxima dos raios da 6ª árvore respectivamente;  $\mu_x$  = a média de cada distribuição;

### Estimativa dos parâmetros dendrométricos

Com base em medições de alturas totais feitas com hipsômetro de Blume-Leiss, realizadas anteriormente em 197 árvores de araucária no local de estudo, foi possível ajustar os modelos hipsométricos que constam na Tabela 2.

**Tabela 2.** Modelos hipsométricos testados.  
**Table 2.** Height-diameter models tested.

Modelo	Formulação	Autor
1	$h = \beta_0 + \beta_1(DAP)$	Modelo da Linha Reta
2	$h = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP^2)$	Modelo Parabólico
3	$h = \beta_0 + \beta_1(DAP^2)$	
4	$h = \beta_0 + \beta_1(\frac{1}{DAP})$	Cutis
5	$h = \beta_0 + \beta_1(\frac{1}{DAP}) + \beta_2(\frac{1}{DAP^2})$	
6	$h = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP^2)}$	Prodan

h = Altura estimada (m);

DAP = Diâmetro a 1,3 m de altura do solo (cm);

Foi selecionado o modelo que apresentou o menor erro padrão de estimativa em percentagem ( $S_{yx} \%$ ) e maior coeficiente de determinação ( $R^2_{ajst}$ ).

O volume individual com casca para a araucária foi estimado utilizando a equação desenvolvida no Inventário do Pinheiro do Sul do Brasil (FUPEF, 1978) e utilizada no Inventário Florestal da FLONA de Irati (Figueiredo Filho *et al.*, 2006):

$$V_{cc}(m^3) = 0,0515975 - 0,00006236d^2 + 0,00007750d^2h - 0,00009743dh^2 + 0,00180899h^2$$

em que:

vcc = volume total estimado (m<sup>3</sup>);

d = diâmetro a 1,30 m acima do solo (cm);

h = altura estimada (m).

O número de árvores por hectare, área basal por hectare e volume por hectare foram estimados, seguindo-se os passos do método de Prodan apresentados por Péllico Netto e Brena (1997).

O número de árvores por hectare foi obtido usando o princípio da proporcionalidade no método de Prodan:

$$N = 55000 / \pi R_6^2$$

em que:

N = número de árvores por hectare;

R<sub>6</sub> = raio da sexta árvore (m).

Da mesma forma que no número de árvores, para a estimativa da área basal por hectare, usou-se relação de proporcionalidade:

$$G = \frac{2500}{R_6^2} (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2 + d_5^2 + \frac{d_6^2}{2})$$

em que:

G = área basal por hectare (m<sup>2</sup>/ha);

R<sub>6</sub> = raio da sexta árvore (m);

d<sub>i</sub> = diâmetro das n árvores (m).

A estimativa do volume por hectare, a partir do volume individual das 6 árvores-amostras é dada por:

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 / 2}{\pi R_6^2} 10000$$

em que:

V = volume por hectare (m<sup>3</sup>/ha);

R<sub>6</sub> = raio da sexta árvore (m);

v<sub>i</sub> = volume estimado das n árvores (m<sup>3</sup>).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Ajuste das Funções Densidade de Probabilidade

A Tabela 3 apresenta os coeficientes das funções ajustadas e o Dcalc utilizado no teste Kolmogorov-Smirnov (K-S).

**Tabela 3.** Coeficientes das funções ajustadas e a estatística do teste Kolmogorov-Smirnov (K-S).

**Table 3.** Coefficients of the fitted functions and the Kolmogorov-Smirnov test (K-S) statistics.

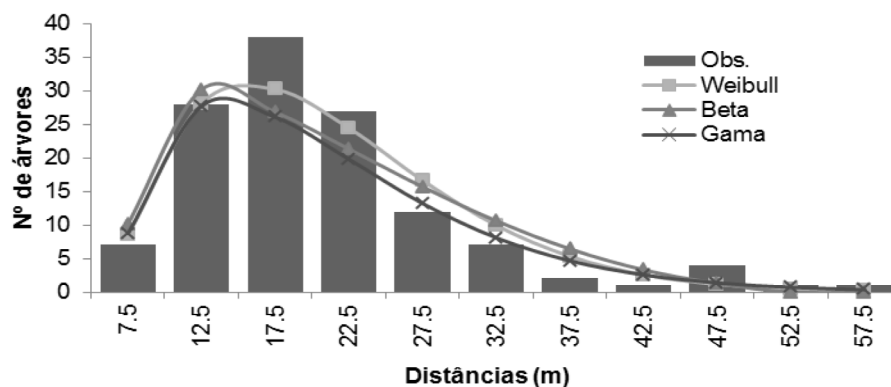
Função Ajustada	Coeficientes	
Beta	α = 1,2203	0,08978**
	β = 3,38348	
Weibull 3P	a = 6,9091	0,06768**
	b = 15,703	
	c = 1,6235	
Gama	α = 3,4989	0,13822**
	β = 5,48761	

\*\*Significativo a 1% de acordo com o teste de K-S

Verifica-se (Tabela 3) que as funções Weibull 3P, Beta e Gama apresentaram aderência e resultados muito próximos do teste K-S ao nível de 1%, embora a distribuição Gama tenha apresentado o pior desempenho.

A distribuição apresentou tendência unimodal com assimetria positiva (Figura 2). A maior frequência foi observada na 3ª classe, que compreende distâncias entre 15 e 20 metros, e a média observada foi de 20,9 m.

As funções Weibull 3P e Beta apresentaram melhores estimativas nas três classes de maior frequência, sobressaindo-se em relação à Gama, de acordo com o teste K-S.



**Figura 2.** Frequências observadas e esperadas das funções testadas.  
**Figure 2.** Observed and expected frequencies by the tested functions.

Embora a maioria das aplicações de funções densidade de probabilidade nos estudos da área florestal esteja voltada para modelar a distribuições diamétricas em povoamentos equiâneos, cujas distribuições se apresentam da mesma forma (unimodal), alguns trabalhos como o de Bartoszeck *et al.* (2004), que testaram diversas fdp's, dentre elas a Weibull 3P, Beta e Gama para distribuição unimodal com assimetria positiva em bracingais no estado do Paraná, concluíram que a função SB de Johnson foi a que resultou em melhor desempenho.

Koehler *et al.* (2010) ajustaram as funções Weibull 2P, Beta, Gama, Exponencial e Normal para descrever a distribuição diamétrica em plantios jovens de araucária no município de Tijucas do Sul, Paraná. Eles concluíram que a distribuição Normal apresentou os melhores resultados conforme indicou o teste Kolmogorov-Smirnov.

Verifica-se que, dependendo da forma da distribuição, algumas funções podem se ajustar melhor do que outras, o que enseja a realização de mais estudos que comparem o desempenho das funções probabilísticas na área florestal.

### Estimativa dos parâmetros dendrométricos

#### Altura

Na Tabela 4 podem ser observadas as estatísticas dos seis modelos hipsométricos testados,

do que se percebe que o modelo 6 (Prodan), com  $S_{yx}$  % de 14,98 e  $R^2_{ajst}$  de 0,4906, sendo este, portanto, o que foi utilizado para as estimativas das alturas das árvores.

Os valores dos ajustes foram superiores aos encontrados por Machado *et al.* (2008), que testaram 13 modelos hipsométricos para araucárias nativas situadas no Campus Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Paraná. Os resultados dos ajustes foram considerados muito baixos, pois a estatística  $R^2$  ajustado variou de 0,1690 a 0,1910 e o erro padrão em percentagem variou de 12,99 a 13,38%. Segundo os autores, o baixo desempenho dos modelos ajustados, caracteriza um estágio avançado e assintótico das alturas para a espécie em estudo.

Pizzato (1999) modelou as alturas de 110 árvores de araucária em São João do Triunfo, PR, utilizando 12 modelos clássicos disponíveis na literatura, para os quais foram encontrados valores de  $R^2$  ajustado entre 0,6360 a 0,7044 e erro padrão de estimativa entre 14,17 a 15,80%, não ocorrendo grandes diferenças na precisão dos ajustes entre os modelos. Também foi possível observar que as estatísticas encontradas na presente pesquisa assemelham-se aos resultados encontrados pela mesma autora, principalmente no que diz respeito ao erro padrão da estimativa em percentagem.

**Tabela 4.** Estatísticas e coeficientes dos modelos hipsométricos testados.  
**Table 4.** Statistics and coefficients of the height-diameter models tested.

Modelo	Estatísticas			Coeficientes		
	$S_{yx}$ %	$R^2$	$R^2_{ajst}$	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
1	15,461	0,4601	0,4573	14,479	0,133	-----
2	15,109	0,4871	0,4818	11,918	0,268	-0,0014
3	16,476	0,3869	0,3837	17,342	0,001	-----
4	15,422	0,4628	0,4601	24,697	-141,02	-----
5	15,062	0,4902	0,4850	26,869	-272,36	1392,49
6	14,980	0,4958	0,4906	-1,854	0,593	0,0346

*Número de Árvores, Área Basal e Volume por hectare*

Na Tabela 5 são apresentadas as estimativas médias do número de árvores, área basal e volume por hectare das 128 unidades amostrais, além das médias dos diâmetros das seis árvores mensuradas por parcela e dos raios das sextas árvores.

Pode-se observar na Tabela 5 que a área basal média da araucária nas parcelas foi de 11,4 m<sup>2</sup>/ha variando de 0,74 a 73,83 m<sup>2</sup>/ha. Figueiredo Filho *et al.* (2010) encontraram a área basal média de 7,81 m<sup>2</sup>/ha na mesma área de estudo para a araucária no censo realizado em 2008, ressaltando que a espécie participa com 25,94% da área basal total da floresta. Dessa forma, foi observada superestimativa da área basal média da floresta avaliada pelo método de Prodan.

Os valores das médias das distribuições encontradas estão apresentados na Tabela 6, na qual pode-se perceber que as médias de todas as distribuições são bastante próximas ao valor real, sendo que a distribuição Weibull apresentou a média da distribuição mais próxima à média da distribuição observada.

Em relação ao número de árvores por hectare médio, percebeu-se que este valor foi bastante superior ao estimado pelo raio médio das distribuições (Tabela 6) em que as estimativas variaram de 39,81 a 47,48 árvores por hectare, valores esses bastante próximos aos encontrados por Stepka (2008) e Sawczuk (2009) quando realizado o censo na mesma área de estudo, encontraram em média, 42,32 árvores de araucária por hectare.

Moscovich e Brena (2006) compararam quatro métodos de área variável (Strand, Prodan, Quadrantes e Bitterlich) com o método da área

fixa, para determinar a eficiência de cada um deles na estimativa do volume, área basal e número de árvores por hectare, além do número de espécies na floresta nativa em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul. Em todos os parâmetros analisados, o método de Prodan gerou uma sub-estimativa em relação ao método de área fixa e todos os métodos testados apresentaram diferenças estatísticas, quando comparados com os resultados obtidos pelo método de área fixa, de acordo com o teste Tukey a 1%.

Brito *et al.* (2007) compararam o método dos Quadrantes com o método de Prodan para quantificar a florística, parâmetros fitossociológicos e estoque volumétrico em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana no município de Lavras, Minas Gerais, verificaram que, para a análise fitossociológica, ambos os métodos apresentaram resultados satisfatórios, enquanto que para a análise florística, o método de Prodan apresentou melhor desempenho. Para as estimativas do estoque volumétrico, o método de Prodan apresentou pior desempenho proporcionando subestimativa para o volume total e superestimativa para espécies de baixa dominância.

Em relação ao volume médio por hectare da araucária estimado pelo método de Prodan foi de 163,92 m<sup>3</sup>/ha, variando de 9,54 a 1099,51 m<sup>3</sup>/ha, sendo que o valor médio encontrado neste estudo é semelhante ao encontrado por Sanquetta *et al.* (2003) em medições de parcelas permanentes realizadas no ano de 2002, nas quais o volume médio para araucária foi de 154,84 m<sup>3</sup>/ha, em General Carneiro, Paraná e um pouco inferior ao encontrado no mesmo trabalho em São João do Triunfo, Paraná (216,60 m<sup>3</sup>/ha).

**Tabela 5.** Dados coletados, área basal e número de árvores por hectare estimados pelo método de Prodan.

**Table 5.** Data collected, basal area and number of trees per hectare estimated by the Prodan Method.

Unid (128)	Diâmetros (cm)						R <sub>6</sub> (m)	G/ha (m <sup>2</sup> )	N/ha (n)	V/ha (m <sup>3</sup> )
	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>				
Média	45,44	46,58	42,16	42,30	46,00	42,78	20,9	11,40	63,5	163,920

Unid= Número de unidades amostrais; D<sub>i</sub>= diâmetro das n árvores (cm); R<sub>6</sub>= raio da sexta árvores(m); G/ha= Área basal (m<sup>2</sup>/ha); N/ha= Número de árvores por hectare, V/ha= Volume por hectare (m<sup>3</sup>/ha).

**Tabela 6.** Raio médio observado e estimado pelas distribuições ajustadas e número de árvores por hectare observado e estimado pelo método de Prodan.

**Table 6.** Observed and estimated mean radius from the distributions fitted and observed, and estimated number of trees per hectare by the Prodan Method.

	Weibull	Beta	Gama	Real	Média Aritmética dos Raios
Raio médio	20,97*	20,73*	19,20*	-	20,9
N/ha	39,81*	40,75*	47,48*	42,32**	-

\*estimativas geradas pelas distribuições que foram aderentes;

\*\*Valor encontrado por STEPKA (2008) e SAWCZUK (2009) na medição das parcelas permanentes.

## CONCLUSÃO

- As funções Weibull 3P e Beta apresentaram os melhores resultados no ajuste da distribuição de distâncias dos raios da 6ª árvore dos pontos amostrais;
- A estimativa da área basal média pelo método de Prodan causou uma superestimativa em relação ao censo realizado na mesma área e no mesmo ano da obtenção dos dados;
- O número de árvores por hectare obtido por meio do raio médio das distribuições de probabilidades ajustadas apresentou uma pequena subestimativa para a distribuição de Weibull e Beta e uma superestimativa para a distribuição Gama em relação ao censo realizado;
- O volume médio por hectare estimado para a araucária pelo método de Prodan apresentou valores bastante próximos aos obtidos em outros locais com semelhantes condições florestais no estado do Paraná.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTOSZECK, A.C.P.S.; MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E.B. A distribuição diamétrica para diferentes idades, sítios e densidades na região metropolitana de Curitiba. *Revista Floresta*, Curitiba, v.34, n.3, p.305-323, 2004.
- BRITO, A.; FERREIRA, M.Z.; MELLO, J.M.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; ACERBI JÚNIOR, F.W. Comparação entre métodos de Quadrantes e Prodan para análise florística, fitossociológica e volumétrica. *Revista Cerne*, Lavras, v.13, n.4, p.399-405, 2007.
- DISPERATI, A.A.; SANTOS, J.R.; OLIVEIRA FILHO, P.A.; NEEFF, T. Aplicação da técnica "filtragem de locais máximas" em fotografia aérea digital para a contagem de copas em reflorestamento de *Pinus elliottii*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.76, p. 45-55, 2007.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A.N.; STEPKA, T.F.; SAWCZUK, A.R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. *Revista Floresta*, Curitiba, v.40, n.4, p.763-776, 2010.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A.N.; WATZLAWICK, L.F. *Inventário das Florestas plantadas na Floresta nacional de Irati, Estado do Paraná*. Curitiba: UFPR, 2006. 103p.
- FUPEF - FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ. *Inventário florestal do pinheiro no sul do Brasil*. Curitiba: FUPEF/ IBDF, 1978. 327p.
- HIGUCHI, N. Amostragem sistemática versus amostragem aleatória em floresta tropical úmida de terra firme na região de Manaus. *Acta Amazônica*, Manaus, v.16/17, p.393-400, 1986/1987.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. *Floresta Nacional de Irati - PR. Localização*. 2009. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br>> Acesso em: 10 nov. 2009.
- KLEINN, C.; VILCKO, F. On estimation in k-tree sampling. In: ANNUAL FOREST INVENTORY AND ANALYSIS SYMPOSIUM, 7., Washington, 2007. *Proceedings...* Washington: USDA, 2007.
- KOEHLER, A.B.; CORAIOLA, M.; PÉLLICO NETTO, S. Crescimento, tendência de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantios jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em Tijucas do Sul, PR. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.38, n. 85, p.53-62, 2010.
- KORNING, J.; THOMSEN, K.; OLLGAARD, B. Composition and structure of a species rich Amazonian rain forest obtained by two different sample methods. *Nordic Journal of Botany*, Copenhagen, v.11, n.1, p.103-110, 1991.
- LOETSCH F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. *Forest inventory*. Bern, Wien: BLV Verlagsgesellschaft München, 1973. 469 p.
- MACHADO, S.A. Complete enumeration forest inventory versus Cluster sampling methods applied in the Amazonian Rain forest. *Revista Floresta*, Curitiba, v.18, n.1/2, p.122-130, 1988.
- MACHADO, S.A.; NASCIMENTO, R.G.M.; AUGUSTYNICZIK, A.L.D.; SILVA, L.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.
- MOSCOVICH, F.A.; BRENA, D.A. Comprobación de cinco métodos de muestreo forestal en un bosque nativo de *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze. Quebracho. *Revista de Ciencias Forestales*, Santiago del Estero, n.13, 2006.

- 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, v.9. n.1. p.173-191, 1999.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D.A. **Inventário Florestal**. Curitiba: UFPR, 1997. v.1, 316p.
- PIZZATO, W. **Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo, PR: 1995 a 1998**. 1999. 172p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- PRODAN, M. Punktstichprobe für die Forsteinrichtung. **Forst- und Holzwirt**, Berlin, v.23, n.11, p. 225-226, 1968.
- REIS, A.; REIS, M. S.; FANTINI, A. C. **Manejo do Palmiteiro (*Euterpe edulis*) em Regime de Rendimento Sustentável**. Florianópolis: UFSC, 1994.
- SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; EISFELD, R. L. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v.5, n.1, 2003. p.101-112.
- SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; CORTE, A.P.D.; FERNANDES, L.A.V. **Inventários florestais: planejamento e execução**. Curitiba: UFPR, 2006. 270p.
- SAWCZUK, A.R. **Florística e estrutura horizontal no período 2002-2008 de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Estado do Paraná**. 2009. 147p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2009.
- SCHÖPFER, W. Die 6-Baum-Stichprobe in der Forsteinrichtung. **Teil 1. AFZ.**, Berlin, v.25, p.533-536, 1969a.
- SCHÖPFER, W. Die 6-Baum-Stichprobe in der Forsteinrichtung. **Teil 2. AFZ.**, Berlin, v.26, p.588-591, 1969b.
- SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M. **Inventário Florestal**. Lavras: UFLA-FAEPE, 1997. 344p.
- STEPKA, T.F. **Modelagem da Dinâmica e Prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista por meio de Matriz de Transição e Razão de Movimentação**. 2008. 138p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2008.

Recebido em 08/05/2011  
Aceito para publicação em 06/10/2012