

Custos de inventário florestal com amostragem de Bitterlich (PNA) e conglomerado em cruz (CC) em plantação de *Pinus taeda* L.Forest inventory costs with bitterlich sampling method (PNA) and cross cluster sampling (CC) in *Pinus taeda* L. standsJoão Paulo Druszcz¹, Nelson Yoshihiro Nakajima²,
Sylvio Péllico Netto³ e Sebastião Amaral Machado⁴**Resumo**

Este estudo foi conduzido em três diferentes condições de plantios de *Pinus taeda* L., sem desbastes, com 10, 9 e 7 anos de idade, 2.000 árvores por hectare e diferentes inclinações no terreno, localizados no Estado do Paraná. O objetivo foi avaliar o custo do inventário utilizando-se a amostragem de área variável de Bitterlich (PNA) e de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC), através da análise do comportamento quanto às precisões e eficiências relativas na estimativa das seguintes variáveis: diâmetro médio (cm), número de árvores por ha, área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha). Para isso, utilizou-se o delineamento casualizado em blocos com 40 unidades amostrais para o método de Bitterlich (PNA) e 10 unidades para o método de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC), sendo este composto por 4 subunidades. Concluiu-se que, para a variável número de árvores por ha, indica-se a utilização do método de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC), já que o custo para a obtenção desta variável é menor. Já para as variáveis diâmetro médio (cm), área basal (m²/ha) e volume (m³/ha), indica-se a utilização do método de área variável de Bitterlich (PNA), tendo em vista o menor custo no levantamento das mesmas.

Palavras-chave: Eficiência relativa. Custo de inventário. Métodos de amostragem.

Abstract

This study was carried out in three different stands of *Pinus taeda* L., non-thinned and aged 10, 9 and 7 years. The stands had 2.000 trees per hectare and are located in Parana State. The aim was to evaluate the costs of inventories using Bitterlich Sampling and the sampling method with Cross Cluster to analyze the behavior of accuracies and relative efficiencies for estimation of the variables: average diameter at breast height, number of trees, basal area and total volume per hectare. For this study, sample units of 40 were taken for the PNA method and 10 units for the CC method, which is composed of four subunits and the randomized design block was used. It was concluded that for the variable number of trees per ha the use of the plot sampling with Cross Cluster is indicated, since the cost to obtain this variable is lower. For the variables diameter (cm), basal area per ha (m²) and total volume per ha (m³) the use of the Bitterlich sampling method (PNA) is indicated, since the cost is lower with these variables.

Keywords: Relative efficiency. Cost of inventory. Sampling methods.

INTRODUÇÃO

A necessidade de saber a quantidade e qualidade dos estoques florestais e sua predição faz com que as empresas busquem informações através de inventários florestais, os quais são feitos com o uso das técnicas de amostragem. A obtenção dessas informações apresenta custos que aumentam com o grau de detalhamento,

precisão requerida, eficiência da forma como as variáveis são obtidas, entre outras informações.

É comum se dizer que, em qualquer aplicação de amostragem, precisão e custo são duas variáveis intimamente interligadas e que a especificação de uma implica automaticamente na determinação da outra (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Avery e Burkhart(1983) afirmam que a melhor estrutura de amostragem de um dado pro-

¹Engenheiro Florestal, Doutorando. UFPR - Av. Prof. Lothário Meissner 900, Campus III, Jd. Botânico; CEP: 80210-170, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: jpaulorz@yahoo.com.br

²Professor Adjunto. UFPR - Departamento de Ciências Florestais Av. Prof. Lothário Meissner 900, Campus III, Jd. Botânico; CEP: 80210-170, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: nelson.nakajima@ufpr.br

³Professor Titular. PUC/PR- Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Rodovia BR 376, km 14 - Costeira, CEP - 12.830-500 - São José dos Pinhais, Paraná, Brasil. E-mail: pellico.sylvio@pucpr.br

⁴Professor Senior. UFPR - Departamento de Ciências Florestais Av. Prof. Lothário Meissner 900, Campus III, Jd. Botânico; CEP: 80210-170, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: samachado@ufpr.br

blema de estimativa é aquela que estabelece a precisão desejada pelo menor custo. Para eles, isto é feito com o produto entre o quadrado do erro padrão e o tempo (custo = tempo).

Mesavage e Grosenbaugh (1956), citados por Vasquez (1988), mencionam que, para o cálculo da eficiência relativa entre métodos de amostragem, deve-se considerar a precisão, assim como o custo ou o tempo.

Segundo Nakajima *et al.* (1997), a eficiência do método de amostragem selecionado (tipo, forma e tamanho) é influenciada em grande parte pela tipologia florestal, grau de degradação da floresta, e pela topografia da área, sendo que a adequação do método de amostragem às condições florestais possibilitará um aumento na precisão nas estimativas das variáveis correntes de interesse e, conseqüentemente, uma redução do tempo de execução, o que refletirá na redução de custos, para um mesmo esforço de amostragem.

Sparks *et al.* (2002) compararam estimativas de número de árvores em três plantios no sudeste de Oklahoma (EUA), usando parcelas circulares e quadradas de tamanho fixo e de tamanho variável. Concluíram que todas as parcelas foram eficientes quanto ao tempo de medição, mas as de área fixa forneceram estimativas mais precisas do número de árvores, independente das suas dimensões.

Mauricio *et al.* (2005), em seus estudos em plantios de *Pinus caribaea* no oriente da Venezuela, concluíram que o método de inventário com parcelas de área fixa é levemente mais preciso que o de área variável, principalmente quanto à estimativa da variável número de árvores. Os mesmos autores afirmam que a menor precisão do método de área variável é compensada pela maior velocidade de execução e economia nos custos de inventário.

Nakajima *et al.* (1996a), comparando a precisão de quatro métodos de amostragem usados para estimativa de valores em duas ocasiões para as variáveis número de árvores, área basal e volume em floresta de *Cryptomeria japonica* D. Don, em Kagoshima, Japão, obtiveram resultados que variaram para cada variável estimada. Para o número de árvores por hectare, o método de área fixa com parcela Circular foi mais preciso em ambas as ocasiões, seguido pelo método de área fixa com parcela Circular Concêntrica. Para a área basal e volume por hectare, o método de área fixa com parcela Circular Concêntrica foi o mais preciso, seguido do método de Bitterlich e de área fixa com parcela Circular. Eles também afirmam que, quanto à acurácia, o método de

área fixa com parcela Circular Concêntrica foi em geral um pouco superior aos outros, apesar de não haver diferenças significativas entre eles. Entretanto, a seleção do método mais apropriado deve considerar o custo, o qual está diretamente relacionado com o tempo gasto no estabelecimento da parcela e coleta de dados.

Freese (1962), citado por Péllico Netto e Brena (1997), propõe incluir o custo como um indicador para comparar tamanhos de unidades amostrais, tendo ele importante participação no contexto de avaliação da eficiência das unidades amostrais de diferentes tamanhos e ainda pode-se usar a combinação dos erros amostrais ou dos coeficientes de variação com os respectivos custos de amostragem. Já Cesaro *et al.* (1994) concluíram que o método de Seis Árvores e o da relascopia mostraram menor eficiência (60% e 80%, respectivamente), quando comparados com o de área fixa.

Moscovich, *et al.* (1999), em estudo comparativo entre os métodos de Área Fixa, Strand, Prodan, Quadrantes e Bitterlich para as estimativas do número de árvores, área basal e volume com casca por hectare, concluíram que o método mais eficiente foi o de Strand para todas as variáveis estimadas. Péllico Netto e Brena (1997) relatam que, se o objetivo for comparar vários tamanhos simultaneamente, pode-se calcular o inverso dos produtos dos quadrados dos coeficientes de variação pelos respectivos custos, e compará-los entre si.

Nakajima (1997) afirma que para se comparar diferentes métodos de amostragem como o de área fixa utilizando diferentes formas nas unidades amostrais com os de área variável, como os métodos de Bitterlich e Strand, deve-se “transformar” os métodos para uma mesma base de comparação, como a padronização do número de árvores por unidade amostral.

O objetivo deste estudo foi comparar os custos de inventários florestais realizados com os métodos de amostragem de área variável de Bitterlich (PNA) e amostragem de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC) para as estimativas correntes das variáveis: diâmetro médio, número de árvores, área basal e volume total, por hectare, em plantações de *Pinus taeda* L., por meio de suas precisões e eficiências relativas. Nesse contexto, parte-se da hipótese que não existem diferenças significativas estatisticamente entre custos em inventários florestais realizados por ambos os métodos de amostragem, isto é, quaisquer diferenças observadas são devidas exclusivamente aos fatores não controlados ou ao acaso.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área deste estudo está localizada na região de Ponta Grossa, Estado do Paraná. As coordenadas geográficas são 24°04'44", latitude Sul e 50°05'49", longitude Oeste. O clima é classificado como Cfb de Köppen, ou seja, de um clima subtropical úmido, mesotérmico, com verões frescos, geadas severas e freqüentes, sem estação seca, sendo a precipitação anual média acima de 1.400mm, com chuvas bem distribuídas durante o ano. A temperatura média anual nos meses mais frios é inferior a 18°C, enquanto que a média anual dos meses mais quentes é superior a 22°C (BOGNOLA *et al.*, 2002).

Os talhões utilizados neste estudo são de *Pinus taeda* L., sem desbastes, com espaçamentos de 2,00 m por 2,50m. As unidades amostrais foram alocadas no Talhão PG-09, denominado de condição 1, com área de efetivo plantio de 52,10 ha, idade de 10 anos e topografia com 4° de inclinação média; Talhão PG-024, denominado condição 2, com área de efetivo plantio de 41,52 ha, idade de 7 anos e topografia com 5,5° de inclinação média e Talhão PG-002A, denominado condição 3, com área de efetivo plantio de 32,86 ha, idade de 9 anos e topografia 6,5° de inclinação média. As três condições totalizam uma área de 126,48 ha.

Delineamento experimental utilizado

O delineamento experimental utilizado foi o casualizado em blocos com repetições, isto é, cada condição topográfica / etária foi considerada um bloco e dentro de cada bloco foram sorteados ao acaso 40 pontos amostrais para o método PNA e 10 pontos amostrais para o método CC, com quatro subunidades. Para o controle das condições experimentais, os mesmos pontos amostrais foram utilizados para os dois métodos.

Equação volumétrica e hipsométrica utilizadas

Os volumes e alturas totais das árvores foram estimados por meio das seguintes equações utilizadas para cada uma das condições, as quais foram geradas com dados deste levantamento.

Condição 1

Equação de volume total, com casca, para árvore individual (Modelo Schumacher-Hall)

$$\ln \hat{V}_i = -10.60677097 + 1.957938764 \ln DAP_i + 1.190197992 \ln H_i$$

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Curtis)

$$\ln \hat{H}_i = 3.484364 + 21.30533 (1/DAP_i) + 107.0489 (1/DAP_i^2)$$

Condição 2

Equação de volume total, com casca, para árvore individual (Modelo Schumacher-Hall)

$$\ln \hat{V}_i = -9.678855718 + 1.961111183 \ln DAP_i + 0.825826419 \ln H_i$$

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Ogawa)

$$1/\hat{H}_i = 0.05204485 + 0.800028 1/DAP_i$$

Condição 3

Equação de volume total, com casca, para árvore individual (Modelo Schumacher-Hall)

$$\ln \hat{V}_i = -9.584241626 + 1.908064397 \ln DAP_i + 0.863903449 \ln H_i$$

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Trorey)

$$\hat{H}_i = 9.81649817 - 0.06224807 DAP_i + 0.00778248 DAP_i^2$$

Prova de Numeração Angular de Bitterlich (PNA)

Esse método consiste no uso do relascópio de Bitterlich para a seleção das árvores, cujo diâmetro à altura do peito (DAP) seja igual ou maior que o ângulo de visada, fazendo-se uma rotação de 360 graus em cada ponto amostral, cujas árvores são selecionadas com probabilidade proporcional ao quadrado do seu diâmetro.

Neste estudo foi utilizado o fator de área basal dois (FAB 2), porque no uso do FAB 3 ou 4 poucas árvores seriam selecionadas por ponto amostral e, conseqüentemente, diminuiria sua precisão e com o FAB 1 seriam selecionadas muitas árvores.

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis foram sugeridas por Nishizawa, citado por Nakajima (1997).

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{g_i} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{g_i} \right)} \quad N = k \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{g_i} \right)$$
$$G = kn \quad V = k \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i}{g_i} \right)$$

em que:

dm = diâmetro médio (cm);
 N = número de árvores por hectare;
 G = área basal por hectare (m²/ha);
 V = volume por hectare (m³/ha);
 k = fator de área basal ($k = 2$);
 n = número de árvores selecionadas por ponto de amostragem;
 d_i = diâmetro da árvore “i” selecionada (cm);
 g_i = área transversal da árvore “i” selecionada (m²);
 v_i = volume da árvore “i” selecionada (m³).

Método de amostragem com conglomerado em cruz (CC)

A amostragem por conglomerados ou grupos é uma variação do método de amostragem de área fixa, no qual, ao invés de se utilizarem unidades amostrais individuais, o arranjo espacial das mesmas é feito em grupo ou conglomerado de pequenas subunidades. Neste estudo, foram utilizadas subunidades amostrais com diferentes áreas, ou seja, para cada condição foi determinado um raio. Na condição 1, o raio da subunidade amostral foi de 6,75 m, que corresponde a uma área de 143,14 m² ou 0,0143 ha. Para a condição 2, o raio da subunidade amostral foi de 5,65 m, que corresponde a uma área de 100,29 m² ou 0,01 ha e, para a condição 3, o raio da subunidade amostral foi de 5,60 m, que corresponde a uma área de 98,52 m² ou 0,0099 ha. A distância entre os centros das subunidades foi calculada da seguinte forma: uma distância fixa de 10 m do centro da unidade amostral até a borda de cada subunidade, mais os raios que, para as condições acima mencionadas, geraram uma distância do centro da unidade amostral até o centro da subunidade de 16,75 m, 15,65 m e 15,60 m.

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis foram sugeridas por QUEIROZ (1998), modificadas por DRUSZCZYK (2008).

$$\overline{d}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{ijk}} d_{ijk}}{n_{ijk}} \quad dm = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \overline{d}_{ij}}{nM}$$

$$NA = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M n_{ij}}{n.M} \right) \frac{1}{s} \quad G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \left(\sum_{k=1}^{n_{ijk}} g_{ijk} \right)}{nM} \frac{1}{s}$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \left(\sum_{k=1}^{n_{ijk}} v_{ijk} \right)}{nM} \frac{1}{s}$$

em que:

n = número de unidades primárias ou conglomerados amostrados;
 M = número de subunidades que compõe cada conglomerado;
 dm = diâmetro médio do conglomerado (cm);
 NA = número de árvores por hectare;
 G = área basal por hectare (m²/ha);
 V = volume por hectare (m³/ha);
 \overline{d}_{ij} = dm das árvores selecionadas na subunidade “j” do conglomerado “i”
 n_{ijk} = número de árvores “k” selecionada na subunidade “j” no conglomerado “i”;
 g_{ijk} = área transversal da árvore “k” selecionada na subunidade “j” no conglomerado “i”;
 v_{ijk} = volume da árvore “k” selecionada na subunidade “j” no conglomerado “i”, e;
 S = área da subunidade circular (ha).

Intensidade amostral ou repetições

No presente estudo, cada método foi conduzido em três diferentes condições topográficas e etárias com uma intensidade amostral de 40 unidades para cada condição no método PNA e 10 unidades para o método CC. O processo de amostragem adotado para sorteio das unidades amostrais na área do estudo foi o inteiramente ao acaso.

Com base em Nakajima *et al.* (1997), como a Prova de Numeração Angular de Bitterlich (PNA) é um método de área variável, isto é, não possui uma área definida e o método com Conglomerado Cruz (CC) é um método de área fixa, com quatro subunidades, uma forma de transformar os dois diferentes métodos (método de área variável versus método de área fixa) para uma mesma base de comparação foi ajustar o “tamanho” da amostra dos dois métodos de maneira tal que contivesse, aproximadamente, a mesma quantidade de árvores. Os mesmos pontos de amostragem foram mantidos para os dois métodos.

Método da eficiência relativa (ER)

Para o cálculo de eficiência relativa foram consideradas todas as variáveis estimadas em cada método de amostragem.

Freese, citado por Pélicco Netto e Brena (1997), considera os tempos médios de mensuração em cada um dos métodos e os coeficientes de variação obtidos, calculando a eficiência relativa pela seguinte fórmula:

$$ER = I / T_i CV^2$$

em que:

ER = eficiência relativa;

T_i = tempo de medição da unidade amostral "i";

CV = coeficiente de variação.

Sendo assim, pode-se, com a eficiência relativa, comparar os métodos e mostrar qual teve melhor desempenho, atendendo ao limite de erro estipulado.

Método de medição

Para estimativa das variáveis: diâmetro médio, número de árvores, área basal e volume total por hectare, foram coletados dados de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total das unidades amostrais. Os mesmos foram utilizados para estimativa do diâmetro médio, número de árvores, área basal e volume total, por hectare.

Instrumentos e materiais utilizados na medição

As medições das árvores inclusas nas parcelas foram feitas pelo método indireto (PNA) e direto (CC), com o uso dos seguintes instrumentos e materiais:

- Para a Prova de Numeração Angular de Bitterlich (PNA): relascópio de Bitterlich para a seleção das árvores da parcela, fita métrica graduada em milímetros para medição dos CAPs, giz para marcação das árvores medidas, estaca para marcação do ponto amostral, ficha de campo, prancheta, lapiseira, borracha.

- Para o método de amostragem com Conglomerado em Cruz (CC): estaca (mesmo ponto amostral do PNA), trena para medição do raio da parcela, fita métrica para medição dos CAPs, giz, ficha de campo, prancheta, lapiseira e borracha.

Fórmulas estatísticas

Prova de Numeração Angular de Bitterlich (PNA)

Para a Prova de Numeração Angular de Bitterlich (PNA), as análises estatísticas foram realizadas por meio das seguintes fórmulas, conforme Péllico Netto e Brena (1997).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)}{n}$$

$$s_x = \sqrt{s_x^2}$$

$$cv = \frac{s_x}{\bar{x}} 100$$

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

$$s_x = \pm \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

$$er = \pm \frac{ts_x}{\bar{x}} 100$$

$$ic = \bar{x} \pm ts_x$$

em que :

\bar{x} = média da variável x;

x_i = valor de cada variável x;

n = número de unidades amostrais;

s^2 = variância;

s = desvio padrão;

s_x = erro padrão;

ER = erro de amostragem em porcentagem;

t = valor tabelar de Student ($t_{(39,0.05)} = 2,023$), e;

ic = intervalo de confiança.

Para este método, a população foi considerada infinita, sendo o erro máximo admissível de 10% e ao nível de probabilidade de 95%.

Método de amostragem com Conglomerado em Cruz (CC)

Para o método de amostragem com conglomerado em cruz (CC), as análises estatísticas foram realizadas por meio das seguintes fórmulas sugeridas por Péllico Netto e Brena (1997):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M X_{ij}}{nM}$$

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^M X_{ij}}{M}$$

$$s_x^2 = s_e^2 + s_d^2$$

$$s_d^2 = MQ_{dentro} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n(M-1)}$$

$$s_e^2 = \frac{MQ_{entre} - MQ_{dentro}}{M}$$

em que $MQ_{entre} = \frac{\sum_{i=1}^n M(\bar{x}_i - \bar{x})^2}{n-1}$

$$r = \frac{s_e^2}{s_e^2 + s_d^2}$$

$$s_x^2 = \frac{s_x^2}{nM} [1 + r(M-1)]$$

$$s = \sqrt{s_e^2 + s_d^2}$$

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} 100$$

$$s_x = \sqrt{s_x^2}$$

$$er = \pm \frac{ts_x}{\bar{x}} 100$$

$$ic = \bar{x} \pm ts_x$$

em que :

\bar{x} = média da população por subunidade

\bar{x}_i = média das subunidades por conglomerado

n = número de conglomerados amostrados;

s_x^2 = variância da população por subunidade;

s_e^2 = variância entre conglomerados;

s_d^2 = variância dentro dos conglomerados;

MQ_{entre} = quadrado médio entre os conglomerados;

MQ_{dentro} = quadrado médio entre as subunidades dentro dos conglomerados;

r = coeficiente de correlação intraconglomerados;

s_x^2 = variância da média;

s = desvio padrão;

s_x = erro padrão;
 cv = coeficiente de variação;
 e_r = erro de amostragem em porcentagem;
 t = valor tabelar de Student ($t_{(09;0.05)} = 2,262$), e ;
 ic = intervalo de confiança.

Para este método, a população foi considerada infinita, sendo o erro máximo admissível de 10%, com 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Número de árvores amostradas por unidade amostral ou parcela

Foram medidos os DAPs de 4.571 árvores em 150 unidades amostrais instaladas em uma área experimental de 126,48 ha. Na tabela 1, é apresentado o número de árvores amostradas em cada unidade amostral ou parcela, por condição e método.

O tamanho da amostra dos dois métodos foi ajustado de forma que contivesse, aproximadamente, o mesmo número de árvores. Devido à dificuldade de ajuste no tamanho da amostra, observa-se que o número de árvores amostrado pelo CC foi 9,2 % maior que o PNA, em média.

Estimativa das variáveis pelos métodos PNA e CC

Na Tabela 2 é apresentado o resumo das estimativas dos valores das variáveis DAP médio (cm), número de árvores por ha, área basal (m²/ha) e volume total por ha (m³/ha) para cada condição.

Análises estatísticas das variáveis estimadas pelos dois métodos

O resumo das análises estatísticas das variáveis DAP médio (cm), número de árvores por ha, área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha) está apresentada nas Tabelas 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

Tabela 1. Número de árvores por unidade amostral.
Table 1. Number of trees by sampling unit.

Unidade amostral	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PNA	CC	PNA	CC	PNA	CC
1	20	93	17	75	19	70
2	17	95	19	77	17	77
3	18	85	19	71	16	72
4	21	92	19	81	19	78
5	21	94	20	73	16	66
6	20	86	19	78	16	70
7	22	92	18	79	20	69
8	23	90	20	73	18	75
9	22	102	18	67	15	81
10	21	87	16	74	17	73
11	19		18		15	
12	20		20		18	
13	19		17		18	
14	21		18		16	
15	19		19		18	
16	21		15		18	
17	18		16		15	
18	18		20		16	
19	21		18		14	
20	20		18		17	
21	21		21		15	
22	20		19		15	
23	18		15		14	
24	18		17		16	
25	21		16		14	
26	22		18		16	
27	19		17		17	
28	18		15		17	
29	16		18		14	
30	18		17		18	
31	20		20		14	
32	21		17		16	
33	25		20		20	
34	24		17		14	
35	22		18		19	
36	25		18		17	
37	18		16		14	
38	18		16		16	
39	18		17		16	
40	20		17		20	
Soma	803	916	713	748	660	731
Média	20	23	18	19	17	18

Tabela 2. Estimativa das variáveis DAP médio, número de árvores, área basal e volume por ha pelas três condições.

Table 2. Estimate of the variables mean DBH, number of trees, basal area and volume by ha under the three conditions.

Variáveis	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PNA	CC	PNA	CC	PNA	CC
DAP médio (cm)	17.1	16.5	15.9	16.0	15.2	15.1
Número de árvores (N/ha)	1723	1600	1768	1865	1764	1855
Área basal/ha (m ² /ha)	40.2	36.2	35.7	38.9	33.0	34.8
Volume/ha (m ³ /ha)	261.3	231.9	169.9	185.8	176.4	185.9

Tabela 3. Análises estatísticas para o DAP médio estimado pelas três condições.
Table 3. Statistical analyses for estimating mean DBH under the three conditions.

Análise estatística	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PNA	CC	PNA	CC	PNA	CC
Desvio padrão (cm)	±1.29	±1.02	±1,34	±0,93	±0,91	±0,89
Erro padrão (cm)	± 0.20	± 0.26	±0,21	±0,24	±0,14	±0,22
Coefficiente de variação (%)	7.58	6.17	8,40	5,83	5,96	5,91
Erro de amostragem (%)	± 2.42	± 3.20	±2,69	±3,08	±1,90	±2,89
Intervalo de confiança (cm)	± 0.41	± 0.53	±0,43	±0,49	±0,29	±0,44

Tabela 4. Análises estatísticas para o número de árvores estimado pelas três condições.
Table 4. Statistical analyses for estimating number of trees under the three conditions.

Análise estatística	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PNA	CC	PNA	CC	PNA	CC
Desvio padrão (N/ha)	±306.55	±133.12	±310,71	±182,96	±280,84	±203,85
Erro padrão (N/ha)	±48.47	±27.70	±49,13	±32,57	±44,41	±37,15
Coefficiente de variação (%)	17.79	8.32	17,57	9,81	15,92	10,99
Erro de amostragem (%)	±5.69	±3.50	±5,62	±3,53	±5,09	±4,05
Intervalo de confiança (N/ha)	±98.04	±56.03	± 99,37	± 65,87	±89,82	±75,14

Tabela 5. Análises estatísticas para a área basal estimada pelas três condições.
Table 5. Statistical analyses for estimating basal area under the three conditions.

Análise estatística	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PNA	CC	PNA	CC	PNA	CC
Desvio padrão (m ² /ha)	±4.16	±5.24	±3,10	±4,22	±3,62	±4,03
Erro padrão (m ² /ha)	±0.66	±1.36	±0,49	±0,76	±0,57	±0,74
Coefficiente de variação (%)	10.36	14.47	8,70	10,84	10,98	11,59
Erro de amostragem (%)	±3.31	±7.57	±2,78	±3,94	±3,51	±4,28
Intervalo de confiança (m ² /ha)	±1.33	±2.74	±0,99	±1,53	±1,16	±1,49

Tabela 6. Análises estatísticas para o volume estimado pelas três condições.
Table 6. Statistical analyses for estimating volume under the three conditions.

Análise estatística	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	PNA	CC	PNA	CC	PNA	CC
Desvio padrão (m ³ /ha)	±31.41	±38.43	±15,48	±22,37	±19,26	±22,23
Erro padrão (m ³ /ha)	±4.97	±10.04	±2,45	±4,35	±3,05	±4,20
Coefficiente de variação (%)	12.02	16.58	9,11	12,04	10,92	11,96
Erro de amostragem (%)	±3.84	±8.76	±2,91	±4,73	±3,49	±4,57
Intervalo de confiança (m ³ /ha)	±10.05	±20.32	±4,95	±8,79	±6,16	±8,50

De acordo com a Tabela 3, para a estimativa do diâmetro médio, o menor erro de amostragem foi para a Prova de Numeração Angular de Bitterlich (PNA). Nakajima (1997), em reflorestamento de cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don), obteve a seguinte classificação: método de Strand, parcela Circular, parcela Circular Concêntrica e método de Bitterlich.

Conforme a Tabela 4, para a estimativa do número de árvores por hectare, o menor erro de amostragem foi para o método de amostragem com Conglomerado em Cruz (CC). Nakajima *et al.* (1995, 1996b) nas Florestas de Shiragadake, Japão, obtiveram a seguinte classificação (quanto à precisão nas estimativas dessas mesmas variáveis): parcela Circular, parcela Circular Concêntrica e método de Strand.

Conforme as Tabelas 5 e 6, para a estimativa de área basal e volume total, por hectare, os menores erros de amostragem foram para o Prova de Numeração Angular de Bitterlich (PNA), mesmo com a desvantagem de ter amostrado 9,2 % menos árvores que o método CC.

Para a área basal, Nakajima *et al.* (1995, 1996b), nas Florestas de Shiragadake, Japão, obtiveram a seguinte classificação da precisão: método de Bitterlich, parcela Circular Concêntrica, método de Strand e parcela Circular.

Já para o volume, Mahrer e Vollenweider (1983), em reflorestamentos na Suíça, obtiveram a seguinte classificação: parcela Circular Concêntrica, método de Strand, método de Bitterlich e parcela Circular.

Classificação dos métodos PNA e CC quanto à precisão

A classificação dos métodos de amostragem na precisão das estimativas das variáveis é apresentada na Tabela 7.

A Tabela 7 mostra que para a estimativa do diâmetro médio, área basal e volume por hectare, o método PNA foi superior e, para o número de árvores, por hectare, o método CC foi melhor.

Tabela 7. Classificação dos métodos com base no erro de amostragem.

Table 7. Classification of methods based on error of sampling.

Classificação	1º Lugar	2º Lugar
DAP médio (cm)	PNA	CC
Número de árvores (N/ha)	CC	PNA
Área Basal (m ² /ha)	PNA	CC
Volume (m ³ /ha)	PNA	CC

Comparação da eficiência relativa entre os métodos PNA e CC

Para análise da eficiência relativa entre os dois métodos, foram consideradas as três condições simultaneamente.

Classificação dos métodos PNA e CC quanto à eficiência relativa

Na análise de variância (ANOVA) da eficiência relativa para as variáveis diâmetro médio (cm) e número de árvores por hectare, o teste F para blocos e tratamentos foi não significativo ao nível de 5% de probabilidade, ou seja, aceita-se a hipótese de nulidade, a qual diz não existirem diferenças estatisticamente significativas entre os blocos e tratamentos, ou seja, os blocos não influem nas estimativas das variáveis analisadas, não se justificando o controle local feito através dos mesmos e, também, não existem diferenças significativas entre os tratamentos. Desta forma, escolhe-se o método mais eficiente que é o PNA para a variável diâmetro médio (cm) e CC para a variável nú-

mero de árvores por hectare. Já para a variável área basal e volume total por hectare, o teste F para blocos foi não significativo e foi significativo para os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade, ou seja, os blocos possuem efeitos semelhantes sobre as variáveis analisadas e os tratamentos não possuem efeitos semelhantes. Desta forma, como são apenas dois tratamentos, não se justifica a realização de testes de contraste de médias e dá-se preferência para o método de amostragem com maior eficiência, que neste caso é o método de amostragem de área variável PNA.

A Tabela 8 mostra que na estimativa do número de árvores, por hectare, o método CC foi mais eficiente e na estimativa do diâmetro médio (cm), área basal por ha (m²/ha) e volume total por ha (m³/ha), o método PNA foi mais eficiente.

CONCLUSÃO

Para a variável diâmetro médio (cm), indica-se a utilização do método de área variável de Bitterlich (PNA) que, além de mais preciso, é 5,6% mais eficiente em média, ou seja, tem um menor custo no levantamento desta variável, sendo que não houve diferença estatisticamente significativa entre os métodos.

Para a variável número de árvores por ha, indica-se a utilização do método de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC), por ser mais preciso, haver diferença estatisticamente significativa entre os métodos e ainda ser 52,0% mais eficiente em média, ou seja, apresenta um custo 52,0% menor no levantamento desta variável.

Para a variável área basal (m²/ha), indica-se a utilização do método de área variável de Bitterlich (PNA). Apesar de não haver diferença estatisticamente significativa entre as precisões, esse método é mais preciso, além de ser 53,2% mais eficiente em média e haver diferença estatística-

Tabela 8. Eficiência relativa comparada pelas três condições.

Table 8. Relative compared efficiency under the three conditions.

Método	Tempo (minutos)	DAP (cm)		Árvores/ha		Área basal (m ² /ha)		Volume (m ³ /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
Condição 1									
PNA	93,88	7,58	1,86	17,79	0,34	10,36	0,99	12,02	0,74
CC	141,33	6,17	1,86	8,32	1,02	14,47	0,34	16,58	0,26
Condição 2									
PNA	74,36	8,40	1,91	17,57	0,44	8,70	1,78	9,11	1,62
CC	103,11	5,83	2,85	9,81	1,01	10,84	0,83	12,04	0,67
Condição 3									
PNA	71,58	5,96	3,94	15,92	0,55	10,98	1,16	10,92	1,17
CC	111,6	5,91	2,57	10,99	0,74	11,59	0,67	11,96	0,63

mente significativa entre as eficiências relativas comparadas dos métodos, ou seja, tem um custo 53,2% menor no levantamento desta variável.

Para a variável volume total (m³/ha), indica-se a utilização do método de área variável de Bitterlich (PNA). Apesar de não haver diferença estatisticamente significativa entre as precisões, esse método é mais preciso, além de ser 55,8% mais eficiente em média e haver diferença estatisticamente significativa entre as eficiências relativas comparadas dos métodos, ou seja, tem um custo 55,8% menor no levantamento desta variável.

REFERÊNCIAS

- AVERY, T.E.; BURKHART, H. **Forest measurements**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1983. 33p.
- BOGNOLA, I.; POTTER, R.O.; CARVALHO, A.P.; FASOLO, P.J.; BHERING, S.B.; MARTORANO, L.G. Caracterização dos solos do município de Carambeí - PR. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2002. 75p. (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 8).
- CESARO, A.; ENGEL, O. A.; FINGER, C. O. G.; SCHNEIDER, P. R. Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia e de seis árvores, quanto a eficiência, no inventário florestal de um povoamento de *Pinus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.4, n.1, p.97-108, 1994.
- DRUSZCZ, J.P. **Comparação do método de Bitterlich com três variações estruturais do método de área fixa com unidades circulares em plantio de *Pinus taeda* L.** 2008. 120p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- MAHRER, F.; VOLLENWEIDER, C. **National forest inventory**. Birmensdorf : Swiss Federal Institute of Forestry Research, 1983. 26p.
- MAURICIO, J.; VINCENT, L.; MORET, A. Y.; QUEVEDO, A. Comparación entre modalidades de muestreo em plantaciones de Pino Caribe en el oriente de Venezuela. **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, v.49, n.1, p.17-25, 2005.
- MOSCOVICH, F.A.; BRENA, B.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.
- NAKAJIMA, N.Y. **Comparison of four ground-survey methods when used as permanent samples in the continuous forest inventory for forest management**. 1997. 91p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, Kagoshima, 1997.
- NAKAJIMA, N.Y.; YOSHIDA, S.; IMANAGA, M. Comparison of change estimation between four ground-survey methods for use in a continuous forest inventory system. **Journal of Forestry Planning**, Tokio, v. 2, n. 2, p.145-150, 1996a.
- NAKAJIMA, N.Y.; YOSHIDA, S.; IMANAGA, M. Comparison of the accuracies of four ground-survey methods used for estimating forest stand values on two occasions. **Journal of Forestry Planning**, Tokio, 1996b, p.137-144.
- NAKAJIMA, N.Y.; YOSHIDA, S.; IMANAGA, M. Comparison among four ground-survey methods as a continuous forest inventory system for forest management. **Journal of the Japanese Forestry Society**, Tokio, v.77, n.6, p.573-580, 1995.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. **Inventário florestal**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1997, 316p.
- QUEIROZ, W.T. **Técnicas de amostragem em inventário florestal nos trópicos**. Belém: UFRA, 1998. 147p.
- SPARKS, J.; MASTERS, R.; PAYTON, M. Comparative evaluation of accuracy and efficiency of six forest sampling methods. **Proceedings of Oklahoma Academy of Science**, v.82, p.49-56, 2002.
- VASQUEZ, A.G. **Método de amostragem em linhas: desenvolvimento e aplicação em uma floresta implantada com *Pinus taeda* L.** 1988. 129p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

Recebido em 11/03/2011

Aceito para publicação em 17/04/2012

