

MÉTODO DE AMOSTRAGEM DE BITTERLICH APLICADO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Luan Demarco FIORENTIN¹
Rodrigo Otávio Veiga de MIRANDA¹
Ronie Silva JUVANHOL²
Sylvio PÉLLICO NETTO¹
Rodrigo Geroni Mendes NASCIMENTO¹
Sebastião do Amaral MACHADO¹

- RESUMO: A amostragem de Bitterlich apresenta grande potencial de uso nos inventários de florestas nativas. Assim, o objetivo desse trabalho é avaliar o comportamento desse método de amostragem, testando o efeito de diferentes Fatores de Área Basal (FABs), na predição da distribuição diamétrica, bem como na estimativa dos parâmetros populacionais de uma Floresta Ombrófila Mista. Os dados provieram de censo realizado em um fragmento florestal, situado em Curitiba, PR. Foram simulados inventários florestais para nove FABs, visando a estimativa do diâmetro médio, número de árvores (N), área basal (G) e volume por hectare (V). As distribuições diamétricas amostradas foram comparadas por meio do teste F de Graybill. Os FABs influenciaram na precisão do método. Os FABs propiciaram diferenças estatísticas entre si na estimativa das distribuições diamétricas, N, G e V. Os estimadores do N, G e V por hectare são mais consistentes quando se utiliza os fatores de área basal igual ou menores que um para a população amostrada. Entretanto como o fator de área basal 1 atendeu a condição com o mínimo número de árvores, ele será o mais apropriado para também atender a condição de mínimo custo, o que comprova a hipótese formulada no presente trabalho.
- PALAVRAS-CHAVE: Inventário florestal; fator de área basal; distribuição diamétrica.

1 Introdução

O desenvolvimento da sociedade ao longo dos anos e a crescente demanda por produtos de origem florestal, especialmente os madeireiros, levou os manejadores florestais a se preocuparem com a quantificação desses recursos, principalmente devido à exploração de forma convencional e a conseqüente escassez de matéria-prima em florestas nativas. Porém, como as florestas geralmente ocupam extensas áreas, mensurar todos os indivíduos componentes de uma população florestal é uma atividade impraticável e

¹ Universidade Federal do Paraná - UFPR, Departamento de Ciências Florestais, CEP: 8021-017, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: luanfiorentin@hotmail.com; rov_miranda@yahoo.com.br; sylviopelliconetto@gmail.com; geronimendes@hotmail.com; profsamachado@gmail.com

² Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, CEP: 29550-000, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil. E-mail: ronie_juvanhol@hotmail.com

onerosa. Assim, diversas técnicas de amostragem foram desenvolvidas no passado e atualmente são utilizadas com frequência para levantamentos de dados florestais.

O método de amostragem de área fixa foi uma das primeiras técnicas desenvolvidas para seleção de árvores para compor uma amostra. Apesar do sucesso e da ampla aplicação desse método na ciência florestal, ele apresenta algumas desvantagens, em geral, por exemplo, a maior quantidade de árvores selecionadas nas unidades amostrais (UA) e aos maiores custos de instalação e manutenção, quando comparados com os demais métodos de área fixa e área variável.

Bitterlich, em 1947, propôs um novo método de amostragem, também conhecido como amostragem por pontos, contagem angular ou Relascopia. Esse método consiste em contar as árvores, em um giro de 360°, cujos diâmetros à altura do peito são iguais ou maiores que uma abertura angular. Assim, a seleção das árvores é efetuada com probabilidade proporcional à área transversal da árvore e à frequência dos indivíduos (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Inicialmente, o método de Bitterlich foi operacionalizado utilizando-se apenas de uma bitola angular, denominada de Barra de Bitterlich. Porém, essas bitolas eram indicadas somente para superfícies planas. Posteriormente, Bitterlich desenvolveu e patenteou o Relascópio de Espelho, o qual corrige automaticamente as declividades do terreno, quando esse não for plano (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Dessa forma, é possível variar a abertura angular para a amostragem dos indivíduos e selecionar o fator de área basal (FAB) mais adequado para determinada floresta, visto que essa escolha pode influenciar diretamente na precisão dos estimadores do inventário florestal. Entende-se por fator de área basal a conversão em metros quadrados por hectare que cada árvore amostrada representa na unidade amostral e somados para todas as árvores nela incluídas (BITTERLICH, 1948).

O método de amostragem de Bitterlich apresenta grande potencial de aplicação em florestas nativas, onde a sua vantagem em relação a outros métodos de amostragem está na rapidez de instalação e medição da unidade amostral, proporcionando menores custos ao inventário. Segundo Farias et al. (2002), devido à simplicidade do procedimento para obtenção dos dados, a aplicação desse método pode ser de extrema utilidade, principalmente quando é necessário um diagnóstico rápido do estoque de madeira e de outras características de florestas inequiâneas, que por sua natureza demandam maiores esforços de amostragem.

Apesar da sua simplicidade, o método de amostragem de área variável de Bitterlich proporciona estimadores populacionais precisos do número de árvores por hectare, área basal, volume por hectare, diâmetro médio e altura dominante, como pode ser observado nos trabalhos de Couto et al. (1990), Farias et al. (2002), Druszcz et al. (2010), Druszcz et al. (2012) e Nascimento et al. (2015).

Conquanto se saiba que aberturas angulares de cada FAB no procedimento da amostragem se comporta de maneira inversamente proporcional ao número médio de árvores amostradas por UA, os autores propõem a seguinte hipótese a ser analisada no presente trabalho: “O número mínimo de indivíduos na amostragem de Bitterlich somente gera estimadores consistentes se esse for igual ou maior que 25 por UA e a decisão do FAB fica condicionada à UA com menor custo operacional”.

Devido à importância do método de amostragem de Bitterlich para os inventários realizados em florestas inequiâneas e heterogêneas em espécies, formalizou-se como objetivo avaliar o efeito do fator de área basal nos estimadores populacionais de diâmetro

médio, número de árvores, área basal e volume por hectare, bem como nas respectivas frequências por classe de diâmetro, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista.

2 Material e métodos

2.1 Área de estudo

A presente pesquisa foi realizada em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, pertencente ao *Campus* III - Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná, localizado na cidade de Curitiba, Paraná.

A floresta possui uma área de 15,4 hectares (ha), sendo 13,0 ha ocupados por Floresta Ombrófila Mista Montana e 2,4 ha são formados por Floresta Ombrófila Mista Aluvial, situadas entre as coordenadas geográficas 25°26'50'' e 25°27'33''S e 49°14'16'' e 49°14'13''W (RONDON NETO et al., 2002). A altitude do terreno está entre 890 a 915 metros (m) acima do nível do mar. O censo florestal foi realizado na área entre o período de julho de 2007 e julho de 2008, onde foram mensuradas e georreferenciadas todas as árvores com diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro medido a 1,3 m acima do solo maior ou igual a 10 cm (NASCIMENTO et al., 2015).

2.2 Parâmetros da população e variáveis dendrométricas

O censo realizado no fragmento florestal indicou a presença de 9.838 árvores, pertencentes a 122 espécies, distribuídas em 81 gêneros e 47 famílias botânicas. A densidade encontrada foi de 657 árvores por hectare, equivalendo a uma área basal de 24,07 m².ha⁻¹ (MACHADO et al., 2008). O volume comercial com casca foi estimado em 145,3167 m³.ha⁻¹, utilizando-se o modelo volumétrico de Schumacher-Hall (1933), obtido a partir de equações volumétricas ajustadas por Schneider e Finger (2000), definidas para espécies folhosas (01) e para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (02), em que v_f é o volume de folhosas já transformado para a variável original; v_a é o volume de *Araucaria angustifolia* já transformado para a variável original; DAP foi definido anteriormente; h_c é a altura comercial, definida até o ponto de inversão morfológica (m); e log é o logaritmo na base 10.

$$v_f = 10^{-3,95275+2,04354\log(\text{DAP})+0,6146\log(\text{hc})}, \quad (1)$$

$$v_a = 10^{-4,29736+2,1841\log(\text{DAP})+0,68504\log(\text{hc})}. \quad (2)$$

A estimativa da altura comercial de todas as árvores do fragmento foi realizada por meio de uma correlação entre a distribuição diamétrica da população (MACHADO et al., 2009), com a distribuição das alturas de uma amostra de 2.500 m² da floresta em análise, medidas com o auxílio do hipsômetro Vertex III. Maiores detalhes quanto à obtenção da altura estimada estão disponíveis em Nascimento et al. (2015).

2.3 Simulação do método de amostragem de Bitterlich

Foram simulados nove inventários florestais aplicando o método de amostragem de Bitterlich, sendo um para cada fator de área basal (FAB) selecionado do Relascópio de Espelho de Bitterlich, os quais são: 1 estreita (FAB = 1/16); 2 estreitas (FAB = 1/4); 3 estreitas (FAB = 9/16); banda 1 (FAB = 1); banda 1 + 1 estreita (FAB = 25/16); banda 2 (FAB = 2); banda 1 + 2 estreitas (FAB = 9/4); banda 1 + 3 estreitas (FAB = 49/16); e banda 4 (FAB = 4).

A simulação foi realizada em planilha eletrônica da *Microsoft® Excel® 2007*, sendo que cada árvore mensurada no censo florestal foi considerada como um ponto central potencial, ou seja, possível origem da unidade amostral, para aplicar a metodologia de amostragem de Bitterlich. Tal metodologia proposta pelos autores está fundamentada na hipótese de que as inclusões de árvores a partir de outra árvore como centro da unidade amostral caracterizam distâncias biológicas no processo probabilístico de seleção das árvores, o que deve melhorar os resultados dos estimadores do método. Em seguida, foi elaborado um sorteio de 6 árvores, ou pontos amostrais, das 9.838 possíveis, para cada FAB testado. O uso de 6 unidades amostrais foi para garantir a independência entre as parcelas em todos os FABs utilizados, visto que as menores aberturas angulares tinham tendência de resultar em parcelas de grandes dimensões o que, conseqüentemente, poderia resultar em sobreposição das parcelas.

As 6 árvores selecionadas foram identificadas e, por meio de procedimentos computacionais desenvolvidos para atender os critérios de amostragem do método, efetuou-se a seleção das árvores vizinhas. As funções indicavam as árvores cujas distâncias dos seus centros, em relação ao ponto central da unidade amostral, eram inferiores ou iguais aos limites requeridos para cada fator de área basal, considerando o diâmetro de cada árvore.

Assim, como eram conhecidas as distâncias dos centros de todas as árvores aos centros de cada ponto amostral, foi possível verificar quais árvores deveriam ou não ser incluídas no ponto amostral utilizando a equação (03), em que R_i é o raio limite de inclusão de uma árvore, com diâmetro à altura do peito DAP; e FAB foi definido anteriormente. Dessa forma, não foram consideradas árvores duvidosas ou marginais na simulação da amostragem.

$$R_i = \frac{DAP}{FAB} \quad (3)$$

Foi considerada também a independência entre as parcelas, ou seja, uma distância mínima (D) entre os pontos amostrais, para evitar que uma árvore fosse selecionada simultaneamente em dois ou mais pontos amostrais, a qual foi obtida pela equação (04), em que $d_{máx}$ é o diâmetro máximo da floresta (PÉLLICO NETTO, 1969); e FAB foi definido anteriormente.

$$D = 100 * \frac{d_{máx}}{\sqrt{FAB}} \quad (4)$$

2.4 Estimadores populacionais

Para cada simulação de inventário florestal foram estimados o diâmetro médio da floresta (05), número de árvores por hectare (06), área basal (07) e volume por hectare (08), em que n é o número de árvores amostradas; g_i é a área transversal da árvore i ($m^2 \cdot ha^{-1}$); v_i é o volume da árvore i (m^3); d_i é o diâmetro da árvore i (cm) e FAB foi definido anteriormente.

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n}, \quad (5)$$

$$N = FAB \sum_{i=1}^n \frac{1}{g_i}, \quad (6)$$

$$G = (FAB)n, \quad (7)$$

$$V = FAB \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{g_i}. \quad (8)$$

2.5 Comparação dos fatores de área basal

Os dados foram analisados considerando um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). O teste de Bartlett foi aplicado com a finalidade de se avaliar a homogeneidade das variâncias, considerando diferentes fatores de área basal como tratamentos. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey para se comparar as médias dos tratamentos.

2.6 Análise e comparação da distribuição diamétrica

A igualdade das distribuições diamétricas amostradas em cada simulação de inventário florestal foi verificada pelo ajuste de um modelo de regressão linear simples (09) entre duas frequências quaisquer, em que y é a frequência diamétrica obtida no FAB i ; e x é a frequência diamétrica obtida no FAB j .

$$y = \beta_0 + \beta_1 x. \quad (9)$$

A hipótese nula (H_0) é de que os coeficientes β_0 e β_1 são estatisticamente iguais a 0 e 1, respectivamente. Portanto, para se testar a hipótese formulada, aplicou-se a estatística F (10), proposta por Graybill (1976). Se o valor de F_{cal} for menor que o F_{tab} , a hipótese H_0 não é rejeitada, admitindo a igualdade entre as frequências.

$$F_{cal} = \frac{(\beta - \theta)'(Y'Y)(\beta - \theta)}{2QM_{res}}, \quad (10)$$

em que: $\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix}$; $\theta = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$; $Y'Y = \begin{bmatrix} n & \sum Y \\ \sum Y & \sum Y^2 \end{bmatrix}$; QM_{res} = quadrado médio do resíduo da variável dependente.

3 Resultados e discussão

3.1 Estimadores populacionais

O número médio de árvores selecionadas em cada unidade amostral variou bastante em função do FAB utilizado, com uma clara e evidente redução do número de árvores amostradas, em decorrência do aumento da abertura angular do FAB (Figura 1). Péllico Netto e Brena (1997) ressaltaram que o FAB mais adequado é aquele que conta de 20 a 30 árvores por giro e, de acordo com Finger (2006), normalmente esse número de árvores é considerado suficiente em uma amostragem de Bitterlich.

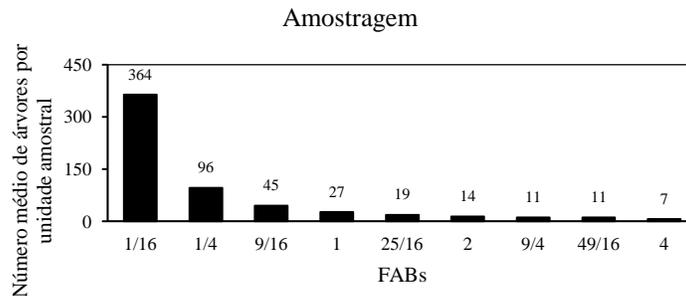


Figura 1 - Número médio de árvores amostradas por unidade amostral em cada FAB utilizado.

Bitterlich (1948), em seu trabalho elucidando o funcionamento do relascópio, recomendou que o número mínimo de árvores a serem contados a cada giro deveria ser superior a 10 por unidade amostral. Farias et al. (2002) amostraram, em média, 81 árvores em parcelas de área fixa (500 m²), em uma floresta inequidiana de Minas Gerais, enquanto em pontos de amostragem de Bitterlich foram amostradas 14, 7 e 4 árvores, para os FABs 1, 2 e 4, respectivamente.

As estatísticas do inventário florestal calculadas para os estimadores de diâmetro médio, número de árvores, área basal e volume por hectare, para cada FAB utilizado, estão apresentadas na Tabela 1.

Avery e Burkhart (2001) afirmaram que a escolha do FAB adequado é altamente dependente do tamanho médio das árvores, bem como da distribuição dos dados amostrados. O diâmetro médio resultou em valores semelhantes para os diferentes FABs utilizados, com o coeficiente de variação, erro padrão, erro amostral e erro relativo menores do que os obtidos para as demais variáveis da floresta. Druszcz et al. (2012) analisaram o método de Bitterlich e de área fixa utilizando-se da estrutura conglomerado em cruz nos custos do inventário florestal, em povoamentos de *Pinus taeda* L., onde o método de Bitterlich (FAB 2) foi mais preciso e eficiente para estimar o diâmetro médio, em relação a um conglomerado em cruz.

Tabela 1 - Estatísticas dos estimadores por hectare de diâmetro médio, número de árvores, área basal e volume para os FABs utilizados

FAB	Média	Coefficiente de variação	Erro padrão	Erro amostral	Erro relativo %
Diâmetro médio (cm)					
1/16	30,12	5,91	0,73	1,87	6,20
1/4	33,18	4,98	0,67	1,73	5,23
9/16	35,92	10,42	1,53	3,93	10,94
1	29,62	13,69	1,66	4,25	14,36
25/16	32,07	17,43	2,28	5,86	18,29
2	28,73	17,04	2,00	5,14	17,88
9/4	30,07	26,66	3,27	8,41	27,98
49/16	30,79	10,83	1,36	3,50	11,37
4	31,47	16,35	2,10	5,40	17,16
Árvores (árvores.ha ⁻¹)					
1/16	810,46	24,06	79,60	204,62	25,25
1/4	578,45	11,54	27,24	70,03	12,11
9/16	615,20	26,20	65,80	169,13	27,49
1	969,57	17,28	68,42	175,88	18,14
25/16	997,12	34,26	139,45	358,46	35,95
2	899,23	28,51	104,65	269,02	29,92
9/4	974,39	47,53	189,07	486,01	49,88
49/16	1025,07	38,01	159,08	408,94	39,89
4	760,34	26,64	82,71	212,61	27,96
Área basal (m ² .ha ⁻¹)					
1/16	22,73	17,68	1,64	4,22	18,56
1/4	23,92	7,70	0,75	1,93	8,08
9/16	25,31	16,75	1,73	4,45	17,58
1	26,67	25,84	2,81	7,23	27,11
25/16	30,21	15,57	1,92	4,94	16,34
2	27,00	15,36	1,69	4,35	16,12
9/4	24,38	25,05	2,49	6,41	26,29
49/16	33,69	24,39	3,35	8,62	25,60
4	29,33	7,04	0,84	2,17	7,39
Volume (m ³ .ha ⁻¹)					
1/16	131,43	16,74	8,98	23,09	17,57
1/4	148,32	7,61	4,61	11,85	7,99
9/16	158,53	18,72	12,12	31,14	19,64
1	153,46	29,85	18,70	48,07	31,33
25/16	178,89	18,72	13,67	35,15	19,65
2	157,19	18,04	11,58	29,76	18,93
9/4	137,82	22,71	12,78	32,85	23,84
49/16	200,63	25,16	20,61	52,98	26,41
4	178,22	11,74	8,54	21,95	12,32

O número de árvores por hectare apresentou grande amplitude de variação na amostragem, sendo que o FAB 9/16 resultou no valor mais próximo ao observado no censo, com diferença de 42 árvores.ha⁻¹. O FAB 1/4 proporcionou as estimativas de área basal e volume por hectare mais precisas, em relação às obtidas no censo, com baixos valores de coeficiente de variação e erro padrão. Além disso, forneceu um erro relativo inferior a 10%, o que caracteriza esse FAB como o mais preciso para estimar essas variáveis.

Druszcz et al. (2012) recomendaram o uso do método de área variável de Bitterlich para estimar a área basal, pois foi o mais preciso e eficiente do que a um conglomerado em cruz, definido por eles, e ainda proporcionando menores custos no levantamento dessa variável. Bitterlich (1984) afirmou que as estimativas da densidade de árvores, bem como a distribuição diamétrica a partir do método de amostragem pontual são menos eficientes quando comparadas às estimativas em área basal. Segundo Loetsch et al. (1973), devido à probabilidade da amostragem de Bitterlich ser proporcional à área transversal das árvores, a área basal por hectare é mais precisamente estimada que no método de área fixa.

Druszcz et al. (2010) também encontraram melhor precisão nas estimativas de área basal e volume para o método de Bitterlich, quando comparado com os resultados obtidos com o método de área fixa, em povoamentos de *Pinus taeda* L. Para Nascimento et al. (2015), a amostragem de Bitterlich apresentou resultados mais precisos para as variáveis área basal e volume, quando comparado com os resultados obtidos nos métodos de Prodan e Strand, em área de Floresta Ombrófila Mista.

É possível perceber que o número de indivíduos por hectare é estimado com precisão satisfatória até os três primeiros FABs. Posteriormente foi verificada fortes tendências de superestimar os valores, exceto no FAB 4. Para área basal e volume por hectare, as oscilações entre os FABs utilizados foram maiores, não demonstrando um padrão claro de ocorrência nos valores, mas com superestimativas mais evidentes nos FABs 25/16, 49/16 e 4.

Esses resultados podem ser explicados pela restrição na seleção das árvores que os FABs com maiores aberturas angulares proporcionam, nos quais somente árvores de grandes dimensões são amostradas, ou aquelas muito próximas ao centro da unidade amostral. No fragmento florestal estudado, cerca de 55% das árvores estão contidas na classe de 10 a 15 cm de diâmetro, com poucas árvores nas maiores classes (MACHADO et al., 2009). Dessa forma, como normalmente árvores grandes apresentam-se bastante espaçadas nas florestas nativas, não é recomendável o uso de um FAB que resulte em grandes aberturas angulares, pois poucas árvores serão selecionadas, gerando estimadores muito variáveis.

Por outro lado, Piqué et al. (2011) simularam inventários florestais em diferentes tipologias florestais encontradas na região Mediterrânea da Catalunha, Espanha, em que o erro médio nas estimativas de todas as variáveis da floresta aumentou de forma quase linear em função do FAB, para os três grupos de floresta estudado, devido ao baixo número de árvores selecionadas nos maiores FABs. Os autores ainda ressaltaram que a escolha do FAB a ser utilizado no inventário florestal não pode ser generalizada e a seleção deve ser feita para cada local, sendo que para as florestas da Catalunha, o FAB 4 é raramente adequado, enquanto FABs com abertura angular menor que 2 são mais recomendados.

As diferenças entre os valores obtidos em cada FAB do método de amostragem de Bitterlich e o censo do fragmento florestal pode ser observado na Figura 2.

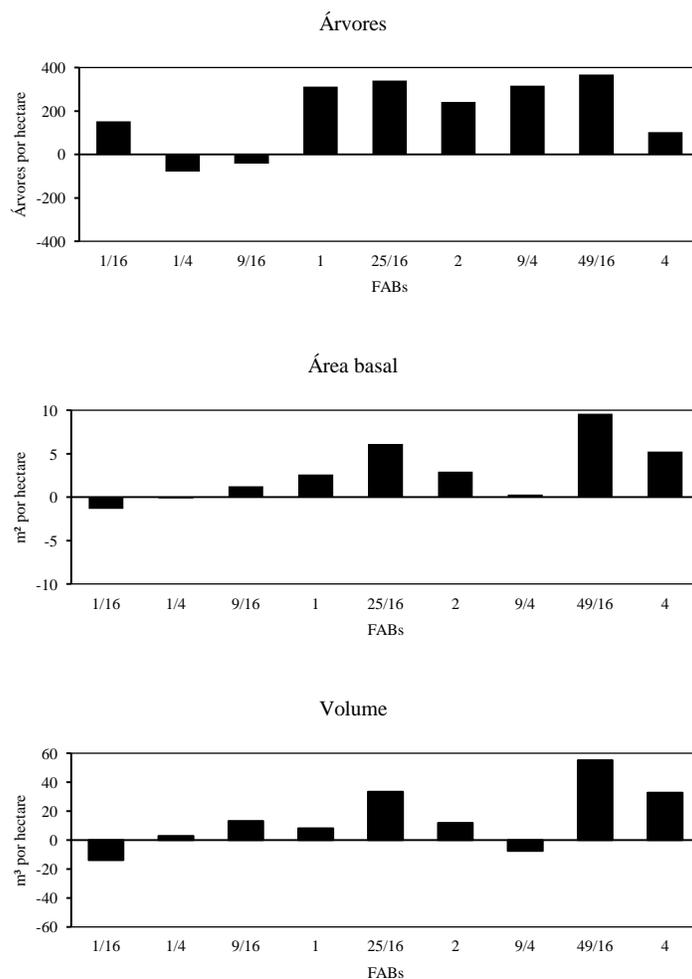


Figura 2 - Diferença entre os valores obtidos em cada FAB utilizado e o censo florestal, para os estimadores de número de árvores, área basal e volume por hectare.

3.2 Comparação das médias dos estimadores populacionais

O teste de Bartlett indicou homogeneidade entre as variâncias dos tratamentos para todos os estimadores populacionais, considerando um nível de 95% de probabilidade. A análise de variância (ANOVA) mostrou que não existem diferenças estatisticamente

significativas para a variável diâmetro médio entre os FABs utilizados, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise de variância dos estimadores populacionais para os FABs utilizados

Fonte de	GL	SQ	QM	F _{cal}	Valor-p	F crítico	F crítico
Diâmetro médio (cm)							
Tratamentos	8	228,62	28,58	1,3299 ^{ns}	0,2537	2,1521	2,9353
Resíduos	45	967,01	21,49				
Total	53	1.195,63					
Árvores (árvores.ha ⁻¹)							
Tratamentos	8	1.337.509,3	167.188,67	2,1925*	0,0460	2,1521	2,9353
Resíduos	45	3.431.422,8	76.253,84				
Total	53	4.768.932,1					
Área basal (m ² .ha ⁻¹)							
Tratamentos	8	588,31	73,54	2,8355*	0,0123	2,1521	2,9353
Resíduos	45	1.167,05	25,93				
Total	53	1.755,36					
Volume (m ³ .ha ⁻¹)							
Tratamentos	8	23.013,42	2.876,68	2,7303*	0,0152	2,1521	2,9353
Resíduos	45	47.413,36	1.053,63				
Total	53	70.426,78					

ns = não significativo para 5% e 1% de significância; * = significativo a 5% de significância.

Os resultados obtidos pela aplicação dos diferentes FABs diferem entre si quanto ao número de indivíduos, área basal e volume por hectare, sendo significativos a 95% de probabilidade, mas não diferem a 99% de probabilidade.

Tabela 3 - Teste de Tukey para comparação das médias dos estimadores populacionais para os FABs utilizados

FAB	Árvores	Área Basal	Volume
1/16	810,46 ^{ab}	22,73 ^a	131,43 ^a
1/4	578,45 ^a	23,92 ^a	148,32 ^a
9/16	615,20 ^{ab}	25,31 ^a	158,53 ^{ab}
1	969,57 ^{ab}	26,67 ^{ab}	153,46 ^{ab}
25/16	997,12 ^b	30,21 ^{ab}	178,89 ^{ab}
2	899,23 ^{ab}	27,00 ^{ab}	157,19 ^{ab}
9/4	974,39 ^{ab}	24,38 ^a	137,82 ^a
49/16	1025,07 ^b	33,69 ^b	200,63 ^b
4	760,34 ^{ab}	29,33 ^{ab}	178,22 ^{ab}
DMS	414,21	7,64	48,69

DMS = diferença mínima significativa do teste de Tukey, para 95% de probabilidade; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey.

Na Tabela 3 está apresentado o teste de comparação de médias de Tukey, o qual foi aplicado aos estimadores populacionais do número de árvores, área basal e volume por hectare, considerando 95% de probabilidade. Esses resultados confirmam as diferenças estatísticas existentes entre as médias obtidas para cada FAB utilizado e para todas as variáveis observadas.

3.3 Distribuição diamétrica

A frequência do número de árvores por hectare e por classe de diâmetro para cada FAB utilizado está apresentada na Tabela 4.

A distribuição diamétrica da floresta apresentou um padrão exponencial negativo para todos os FABs, devido à redução do número de árvores com o aumento das classes de diâmetro, forma característica de florestas multiâneas e heterogêneas em espécies. Esse mesmo formato da distribuição de diâmetros também foi verificado anteriormente por Machado et al. (2009), na análise da estrutura horizontal dessa floresta, obtida no censo realizado no fragmento.

Ainda, o número de árvores por classe de diâmetro apresentou grande variação entre os FABs utilizados, com ligeiras superestimativas nas classes intermediárias para os FABs 9/16, 1, 25/16, 49/16 e 4. Farias et al. (2002) compararam a distribuição diamétrica proveniente da amostragem de Bitterlich e área fixa, quando foram obtidas estimativas tendenciosas para os FABs 1, 2 e 4 no método de Bitterlich.

Tabela 4 - Frequência amostrada do número de árvores por hectare e por classe de diâmetro para os FABs utilizados

Centro de classe (cm)	Número de árvores por classe de diâmetro (árvores.ha ⁻¹)								
	1/16	1/4	9/16	1	25/16	2	9/4	49/16	4
12,5	488	196	286	619	654	413	615	523	217
17,5	181	164	160	189	129	251	187	259	280
22,5	58	87	43	57	94	143	84	91	84
27,5	28	50	37	48	55	40	45	49	56
32,5	19	36	27	4	15	15	9	50	32
37,5	9	16	14	9	5	12	7	9	18
42,5	6	7	13	13	9	7	8	15	9
47,5	6	6	6	8	6	3	2	0	0
52,5	5	5	12	12	12	6	2	17	16
57,5	4	5	11	7	9	1	4	2	0
62,5	3	4	3	3	5	2	6	12	2
67,5	2	1	2	1	4	4	4	0	2
72,5	1	0	1	0	0	0	0	0	0
77,5	0	1	0	0	0	1	0	0	0
82,5	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Total	810	578	615	970	997	899	974	1025	717

A comparação do número de árvores por hectare e por classe de diâmetro foi realizada por meio do teste F de Graybill, como pode ser observado na Tabela 5, em que o F_{tab} é igual a 6,51, para 99% de probabilidade. É possível perceber que os FABs utilizados propiciaram diferenças estatísticas entre as distribuições diamétricas, sendo que as maiores diferenças foram obtidas entre a distribuição com FAB 9/16 e 49/16, principalmente devido às superestimativas do número de árvores por hectare que foram amostradas por esse último.

Tabela 5 - Teste F de Graybill para comparação da frequência amostrada da distribuição diamétrica entre os FABs utilizados

FAB	1/16	1/4	9/16	1	25/16	2	9/4	49/16
1/4	28,10 ^{ns}							
9/16	88,92 ^{ns}	4,43 ^{**}						
1	52,27 ^{ns}	13,31 ^{ns}	37,28 ^{ns}					
25/16	14,29 ^{ns}	11,54 ^{ns}	20,92 ^{ns}	0,95 [*]				
2	0,29 [*]	40,30 ^{ns}	27,50 ^{ns}	4,46 [*]	3,67 ^{**}			
9/4	56,86 ^{ns}	14,21 ^{ns}	37,18 ^{ns}	0,02 ^{**}	0,77 ^{**}	6,17 ^{**}		
49/16	8,91 ^{ns}	25,06 ^{ns}	256,97 ^{ns}	2,07 [*]	1,33 ^{**}	6,66 ^{ns}	2,25 ^{**}	
4	0,99 ^{**}	10,06 ^{ns}	1,32 ^{**}	3,80 ^{**}	2,36 ^{**}	4,14 ^{**}	3,97 ^{**}	7,31 ^{ns}

em que: ns = não significativo para 5% de significância; * = significativo a 1% de significância.

Conclusões

A escolha do fator de área basal influencia diretamente na precisão dos estimadores populacionais, o que pode gerar estimativas precisas ou tendenciosas dos resultados do inventário florestal.

O método de amostragem de Bitterlich é preciso para estimar as variáveis da floresta, sendo mais apropriado para o estimador de área basal.

Os resultados obtidos nesse estudo evidenciam que os estimadores do número de árvores, área basal e volume por hectare são mais consistentes quando se utiliza os fatores de área basal igual ou menores que 1 para a população amostrada. Entretanto como o fator de área basal 1 atendeu a condição com o mínimo número de árvores, esse será o mais apropriado para também atender a condição de mínimo custo, o que comprova a hipótese formulada no presente trabalho.

FIorentin, L. D.; MIRANDA, R. O. V. de; JUVANHOL, R. S.; PÉLLICO NETTO, S.; NASCIMENTO, R. G. M.; MACHADO, S. do A. Bitterlich sampling method applied in Mixed Ombrophilous Forest. *Rev. Bras. Biom.* Lavras, v.34, n.3, p.407-420, 2015.

- **ABSTRACT:** *Bitterlich sampling has great potential for use in the native forest inventories. Therefore, this study aims to evaluate the behavior of this sampling method, testing the effect of different Basal Area Factors (BAFs) on the prediction of the diameter distribution, as well as the estimation of the population parameters of a Mixed Ombrophilous Forest. The data came from a census carried out in a forest fragment, located in Curitiba, PR. Forest inventories were*

simulated for nine BAFs, aimed to estimate the mean diameter, as well as the number of trees (N), basal area (G) and volume per hectare (V). The diametric distributions sampled were compared using Graybill's F test. The BAFs affect the precision of the method. The BAFs have showed statistical discrepancy among themselves in the estimates of diameter distribution, N , G and V . The estimators of the N , G and V per hectare are more consistent when using the basal area factors equal or less than 1 to the sampled population. However as the basal area factor 1 met the condition with the minimum number of trees, it will be more appropriate to also meet the condition of minimum cost, which proves the hypothesis formulated in this work.

- **KEYWORDS:** Forest inventory; basal area factor; diametric distribution

Referências

EVERY, T. E.; BURKHART, H. *Forest Measurements*. 5ed. New York: McGraw-Hill, 2001, 480p.

BITTERLICH, W. *The relascope idea. Relative measurements in forestry*. Farnham Royal, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1984. 242p. BITTERLICH, W. Die Winkelzahlprobe. *Allgemeine Forst und Holzwirtschaftliche Zeitung*, Wein, v.59, n.1/2, p.4-5, 1948.

COUTO, H. T. Z. do; BASTOS, N. L. M.; LACERDA, J. S. de. Amostragem por pontos na estimativa da altura de árvores dominantes e número de árvores por hectare em povoamentos de *Eucalyptus saligna*. *IPEF*, Piracicaba, n.43/44, p.50-53, 1990.

DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, N. Y.; PÉLLICO NETTO, S.; MACHADO, S. do A. Custos de inventário florestal com amostragem de Bitterlich (PNA) e conglomerado em cruz (CC) em plantação de *Pinus taeda* L. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.40, n.94, p.231-239, 2012.

DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, N. Y.; PÉLLICO NETTO, S.; JÚNIOR, M.Y. Comparação entre os métodos de amostragem de Bitterlich e de área fixa com parcela circular em plantação de *Pinus taeda*. *Floresta*, Curitiba, v.40, n.4, p.739-754, 2010.

FINGER, C. A. G. *Biometria Florestal*. Santa Maria: Editado pelo Autor, 2006. 314p.

FARIAS, C. A.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G. Comparação de métodos de amostragem para análise estrutural de florestas inequiâneas. *Árvore*, Viçosa, v.26, n.5, p.541-548, 2002.

GRAYBILL, F. A. *Theory and application of the linear model*. Massachusetts: Ouxburg Press, 1976. 704p.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. *Forest inventory*. 2.ed. Munich: BLV Verlagsgesellschaft, 1973. 469p.

MACHADO, S. do A.; AUGUSTYNCZIK, A. D. L.; NASCIMENTO, R. G. M.; TÊO, S. J.; MIGUEL, E. P.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R. da. Funções de distribuição diamétrica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.39, n.8, p.2.428-2.434, 2009.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. *Dendrometria*. 2.ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2009. 316p.

MACHADO, S. do A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. D. L.; TÉO, S. J. Parâmetros fitossociológicos de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 4, 2008, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: UFSM/CCR/PPGEF, 2008. p.433-438.

NASCIMENTO, R. G. M.; SILVA, L. C. R. da; BARBEIRO, L. S. S.; WOJCIECHOWSKI, J. C.; PÉLLICO NETTO, A.; MACHADO, S. do A. Efeito da árvore marginal nos estimadores populacionais obtidos por métodos de amostragem de área variável. *Cerne*, Lavras, v.21, n.1, p.125-131, 2015.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. *Inventário Florestal*. Curitiba: Editado pelos Autores, 1997. 316p.

PÉLLICO NETTO, S. *Factors affecting cluster sampling*. 1969. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências). College of Forestry, State University of New York at Syracuse University, Syracuse, 1969.

PIQUÉ, M.; OBON, B.; CONDÉS, S.; SAURA, S. Comparisons of relascope and fixed-radius plots for the estimation of forest stand variables in northeast Spain: an inventory simulation approach. *European Journal of Forest Research*, v.130, p.851-859, 2011.

RONDON NETO, R. M.; KOZERA, C.; ANDRADE, R. do R. de; CECY, A. T.; HUMMES, P. A.; FRITZONS, E.; CALDEIRA, M. V. W.; MACIEL, M. de N. M.; SOUZA, M. K. F. de. Caracterização florística e estrutural de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, em Curitiba, PR, Brasil. *Floresta*, Curitiba, v.32, n1, p.3-16, 2002.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. *Manejo sustentado de florestas inequidâneas heterogêneas*. Santa Maria: UFSC, 2000. 195p.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*, v.47, n9, p.719-734, 1933.

Recebido em 01.10.2015

Aprovado após revisão em 21.03.2016