

Precisão e eficiência relativa de métodos de amostragem em teca

Dirceu Lucio Carneiro Miranda^{1,2*}, Jonas Francio¹, Juliano de Paula Santos¹, Carlos Roberto Sanquetta³, Ana Paula Dalla Corte³

¹Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Av. Alexandre Ferronato, 1.200, Setor industrial, CEP 78550-000, Sinop, MT, Brasil

²Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Av. André Araújo, 2.936, Bairro Petrópolis, CEP 69060-001, Manaus, AM, Brasil

³Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Florestais, Av. Prefeito Lothário Meissner, 3400, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil

*Autor correspondente:
mirandaufmt@hotmail.com

Termos para indexação:

Inventário florestal
Plantios florestais
Tectona grandis

Index terms:

Forest inventory
Forest plantations
Tectona grandis

Histórico do artigo:

Recebido em 17 dez 2013
Aprovado em 01 set 2015
Publicado em 30 set 2015

doi: 10.4336/2015.pfb.35.83.638

Resumo - Este estudo teve como objetivo comparar três métodos de amostragem: área fixa, Bitterlich e Prodan, quanto à precisão e eficiência relativa na estimativa das variáveis, diâmetro a 1,30 m do solo (DAP), número de árvores, área basal e volume total. Foi fixado um limite de erro em 10% em um nível de probabilidade de 95%, utilizando-se 30 parcelas para cada método. Foram mensuradas as circunferências a 1,30 m do solo, para posterior conversão em DAP, e cronometrado os tempos totais desde a instalação das parcelas até a mensuração da última árvore. Para as estimativas das variáveis DAP e número de árvores por hectare, o método de área fixa foi o mais preciso. No entanto, para estimativa de área basal e volume o método de Bitterlich mostrou-se mais preciso. O método de Bitterlich mostrou-se o mais eficiente para estimativa de todas as variáveis. Pode-se concluir que a precisão não está diretamente associada à eficiência relativa e que métodos de amostragem menos usuais que o de área fixa podem ser utilizados com precisão e eficiência em inventários florestais.

Precision and relative efficiency of sampling methods in teak

Abstract - This study aimed to compare three sampling methods: fixed area, Bitterlich, and Prodan, regarding accuracy and relative efficiency to estimate the variables: diameter at 1.30 m above soil level (DBH), number of trees, basal area, and volume. The limit of error established was 10% at probability level of 95%, using 30 plots for each method. Circumference at 1.30 m above soil level was measured, for conversion in DBH, with total time counted since the plots installation until the last tree measured. The most accurate sampling was the fixed area method, for estimation of DBH and number of trees per hectare, whereas the Bitterlich method was the most accurate for estimation of basal area and volume. Bitterlich method proved to be more efficient for estimation of all variables. It can be concluded that the accuracy is not directly associated with relative efficiency, and that less usual sampling methods than fixed area can be used with accuracy and efficiency in forest inventories.

Introdução

Os inventários florestais são procedimentos para obter informações sobre quantidades e qualidades dos recursos florestais e de muitas características das áreas sobre as quais as espécies estão crescendo (Husch et al., 1993), sendo assim de relevante importância para o planejamento das empresas florestais, onde muitas deixam de fazê-lo pelos custos que em muitos casos, podem ser elevados. Segundo Péllico Netto & Brena (1997), o dimensionamento de indústrias, o financiamento de recursos e o planejamento da utilização dos recursos florestais só serão eficientes e lograrão êxito, se forem fundamentados em dados coletados, manipulados e analisados dentro dos padrões técnicos, que possam garantir uma decisão adequada e racional. Visando diminuir custos e aumentar a eficiência dos inventários florestais, diversos métodos de amostragem vêm sendo desenvolvidos ao longo das últimas décadas. A seleção por uma metodologia que seja eficiente, precisa e que ao mesmo tempo demande menos tempo e recursos, é sinônimo de economia e planejamento seguro para quem detêm plantios florestais. Portanto, é importante que os inventários florestais quantifiquem os recursos florestais, visando reduzir os erros oriundos da amostragem, obtendo-se maior eficiência nos resultados com a maior redução de custos possível.

Nos inventários florestais, a eficiência é um indicador que analisa os custos ou tempos de um determinado método de amostragem e sua precisão, com base no coeficiente de variação, apresentando valores que determinam quanto eficiente será o método em comparação com outro. A precisão refere-se ao tamanho dos desvios da amostra em relação à média estimada, a qual se obtém através da repetição do procedimento de amostragem. Assim, ela será indicada pelo erro padrão da estimativa sem levar em conta o tamanho dos erros não amostrais (Druczsz et al., 2010). Alguns métodos mostram-se altamente precisos e eficientes em condições específicas, como topografia, espaçamento, idade ou número de desbastes. Dessa forma, cada método pode ser mais ou menos vantajoso, conforme as condições em que ele se encontra.

Encontram-se hoje na literatura diversos métodos de amostragem, cada um com suas peculiaridades (Sanquetta et al., 2009). O mais conhecido é o método de área fixa, que em geral apresenta formato circular, quadrado ou retangular. Os métodos de área variável

disponíveis foram concebidos por diferentes autores, tais como: Bitterlich (1948), Prodan (1968) e Strand (1958), entre outros. Vários autores têm se preocupado com o tema da eleição das unidades amostrais, como por exemplo Silva (1980) em uma floresta tropical na região do Baixo Tapajós, PA; Mello (1995), em um remanescente de floresta nativa no município de Lavras, MG; Bonetes (2003), na Floresta Nacional de Chapecó, no município de Guatambu, SC; Ubialli et al. (2009), em uma Floresta Ecotonal na região Norte Mato-Grossense; e Oda-Souza et al. (2010), que avaliaram a influência do tamanho e forma da unidade amostral. Da mesma maneira, autores como Köhl et al. (2006), Wulder et al. (2012), Gregoire et al. (2011), Stahl et al. (2011) e Naesset et al. (2013) abordam questões relacionadas às unidades amostrais e sua conformação em campo.

Assim sendo, é importante identificar o método de amostragem mais adequado para cada situação florestal, subsidiando, desta forma, a tomada de decisões das atividades florestais a um baixo custo financeiro e elevado grau de eficiência e precisão. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar três métodos de amostragem: área fixa, Bitterlich e Prodan, quanto à precisão na estimativa das variáveis dendrométricas e avaliar a eficiência relativa desses métodos em função do tempo e do coeficiente de variação.

Material e métodos

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo do presente trabalho está localizada em um plantio florestal de teca (*Tectona grandis* L. f.) às margens da BR 163, km 845 no Município de Sinop, MT. O plantio está situado nas coordenadas geográficas 11°39'38"S e 55°26'18" W.

Com área de aproximadamente 150 ha, implantados para reposição florestal e fins comerciais esse povoamento florestal apresenta 12 anos de idade, com amplitude diamétrica de 7,32 a 27,69 cm, altura média de 14,1 m, espaçamento inicial de 3 m x 2 m, sem nenhuma intervenção silvicultural.

Essa região é caracterizada como zona de transição edafoclimática entre Cerrado e Floresta Amazônica, com vegetação classificada como Floresta Semidecidual Submontana, com dossel emergente. Seu clima, segundo Köppen, é do tipo Aw - clima tropical com estação seca de inverno, com três meses de seca, de junho a agosto.

As médias da temperatura máxima e mínima mensais são 34 e 24 °C, respectivamente, e a precipitação média anual de 2.090 mm (Brasil, 1980).

O solo apresenta baixa fertilidade, sendo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argila arenosa, com pH em água 4,5, baixo teores de K e P, 2,0% de V (Saturação por Bases) e 2,4% de matéria orgânica, 54% de areia, 6% de silte e 40% de argila (Brasil, 1980).

2.2 Coleta de dados

Definiu-se o tipo de inventário como detalhado e os métodos de amostragem a serem avaliados: método de área fixa com parcela retangular de 600 m² (20 m x 30 m) e métodos de Bitterlich e de Prodan (conforme metodologia descrita por Péllico Netto & Brena, 1997).

O método de área fixa foi o primeiro a ser empregado em campo. Neste método, após a localização em campo com auxílio de GPS, iniciou-se o processo de instalação das parcelas de 20 m x 30 m. O tempo começou a ser contado no início da demarcação da parcela, e finalizou-se com o término da medição da última árvore, contabilizando-se o tempo total da demarcação da parcela até a mensuração do último indivíduo. Foram mensurados os diâmetros à altura do peito de todas as árvores da parcela. As demais variáveis (altura e volume) foram estimadas a partir de equações ajustadas para o local, para todos os métodos avaliados.

O método de Bitterlich foi o segundo instalado na área em estudo. Para este método, utilizou-se um relascópio de Bitterlich, onde a banda 1 foi a escolhida para as mensurações. Para execução do método de Bitterlich, mediu-se exatamente o centro da parcela de área fixa retangular com auxílio de uma trena métrica onde se fixou uma estaca, para demarcação do centro da parcela. Com o centro da unidade amostral demarcado, deu-se início ao processo de amostragem. Este método foi dividido em duas partes: o primeiro com o intuito de estimar apenas a área basal e alocar a parcela e o segundo para estimar as demais variáveis. Para este último, portanto, foi necessário mensurar os DAPs. O tempo foi cronometrado a partir do início do giro até o término do mesmo. Na segunda parte, a cronometragem iniciou-se com a mensuração da primeira árvore e finalizou-se com a mensuração da última árvore contada. Portanto, temos dois tempos para o método de Bitterlich, um para estimativa da área basal, servindo também de tempo de

instalação de parcela, e outro para estimar as demais variáveis.

O método de Prodan foi, na sequência, o último a ser instalado em campo e a parcela foi alocada da mesma forma que para o método de Bitterlich, ou seja, no centro da parcela de área fixa. Do mesmo modo que no método de área fixa, obteve-se apenas um tempo contabilizado, que engloba a demarcação da parcela e as mensurações dos DAPs, resultando no tempo total. O tempo começou a ser contabilizado a partir do início da demarcação da parcela, ou seja, da medição das árvores mais próximas. Realizado este procedimento, iniciou-se a medição dos DAPs das árvores marcadas e, por fim, estabeleceu-se o tempo total após a medição da sexta árvore.

2.3 Precisão

Para o presente estudo foi fixado um limite de erro em 10% em um nível de probabilidade de 95%, onde o erro amostral relativo, que foi utilizado para verificar qual método foi mais preciso, é dado pela equação 1.

$$E_r = \pm \frac{t \cdot s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

E_r = Erro amostral relativo

T = valor tabelar de Student ($t_{0,05;29}$)

\bar{X} = média das observações

2.4 Eficiência relativa

O método de amostragem é considerado o mais eficiente quando apresenta o maior valor para ER dentre os demais. Para o cálculo de eficiência relativa foram considerados os coeficientes de variação de todos os métodos de amostragem, sendo calculada pela equação 2.

$$ER = \frac{1}{T_i \cdot CV^2} \quad (2)$$

Onde:

ER = Eficiência relativa

T_i = Tempo de medição da unidade amostral “ i ”

CV = Coeficiente de variação

2.5 Tempo médio de amostragem

Para fins de cálculo de eficiência relativa não foi considerado o tempo de deslocamento, já que os pontos das unidades amostrais foram os mesmos para todos os métodos.

O tempo médio estimado de amostragem foi obtido através da soma dos tempos de execução de cada parcela, posteriormente obtido sua média e essa média multiplicada pela quantidade de parcelas necessárias (10% de erro e 95% de probabilidade) para cada método, obtendo-se, assim, um tempo total para cada método de amostragem utilizado.

Resultados e discussão

3.1 Análise da precisão

Estão apresentados na Tabela 1 os resultados das análises estatísticas das variáveis DAP médio, número médio de árvores, área basal média e volume médio, por hectare, obtidas com base nos dados coletados e estimados.

Para a estimativa do DAP médio e do número médio de árvores por hectare o método de área fixa se mostrou mais preciso, e para a estimativa da área basal e do volume por hectare o método mais preciso foi Bitterlich. Esse fato também foi constatado por Druszcz et al. (2010) onde o método de Bitterlich, por ser um método que faz a seleção dos indivíduos com probabilidade à área basal, foi mais preciso e eficiente para a estimativa das variáveis área basal e volume total.

Os valores encontrados para estimativa do DAP médio foram bem próximos, variando em menos de uma unidade (cm) para todos os métodos, revelando que os métodos estudados estimam esta variável com boa precisão.

O número médio de árvores por hectare apresentou uma superestimação, quando aplicados os métodos de Bitterlich (+11,32%) e o de Prodan (+26,40%) em relação ao método de área fixa. Nascimento et al. (2015) também encontraram superestimativas para o número de árvores por hectare ao confrontar os resultados dos métodos de Bitterlich, Prodan e Strand ao censo de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná. Nos estudos desenvolvidos por Druszcz et al. (2010) e Santos et al. (2012) também foi observada essa tendência de superestimativa por esses métodos.

Tabela 1. Análise estatística da estimativa de DAP médio, número de árvores, área basal e volume, quando aplicados os métodos de amostragem de área fixa, Bitterlich e Prodan.

Variáveis	Métodos		
	Área fixa	Bitterlich	Prodan
DAP médio (cm)	15,03	16,01	15,83
Desvio padrão (cm)	±0,76	±0,90	±1,55
Erro padrão (cm)	±0,14	±0,16	±0,28
Coeficiente de variação (%)	5,05	5,63	9,77
Erro de amostragem relativo (%)	±1,89	±2,10	±3,65
Número médio de árvores ha⁻¹	892	993	1125
Desvio padrão (N ha ⁻¹)	±108,00	±151,62	±342,12
Erro padrão (N ha ⁻¹)	±26,16	±36,77	±82,98
Coeficiente de variação (%)	12,09	15,27	30,41
Erro de amostragem relativo (%)	±6,22	±7,85	±15,64
Área basal média (m² ha⁻¹)	16,67	18,03	20,06
Desvio padrão (m ² ha ⁻¹)	±2,76	±2,16	±4,49
Erro padrão (m ² ha ⁻¹)	±0,50	±0,39	±0,82
Coeficiente de variação (%)	16,56	11,96	22,39
Erro de amostragem relativo (%)	±6,18	±4,47	±8,36
Volume médio (m³ ha⁻¹)	125,06	151,21	146,83
Desvio padrão (m ³ ha ⁻¹)	±17,30	±17,41	±37,94
Erro padrão (m ³ ha ⁻¹)	±3,16	±3,17	±6,93
Coeficiente de variação (%)	13,85	11,51	25,84
Erro de amostragem relativo (%)	±5,17	±4,30	±9,65

Como no método de área fixa a seleção dos indivíduos é feita proporcionalmente à área da unidade de amostra e, conseqüentemente, à frequência dos indivíduos que nela ocorrem, houve mais chances de que neste método fosse captada uma média do diâmetro e número de árvores mais próxima dos valores reais do povoamento, uma vez que a área desta unidade amostral (600 m²) foi maior em relação àquelas resultantes da aplicação dos métodos de Bitterlich e Prodan. Isto ocorre, em parte, devido ao plantio avaliado se apresentar muito heterogêneo, ou seja, com muitas falhas e alta amplitude diamétrica. Holmström et al. (2003) também observaram que alguns povoamentos apresentaram heterogeneidade nas variáveis de interesse, quando testados diferentes métodos de inventários florestais.

No método de Bitterlich, além da seleção dos indivíduos ser baseada em sua frequência, também é proporcional à área basal, sendo este, um dos fatores que limitam sua precisão. Percebeu-se que quando há falhas no plantio ou árvores com diâmetros inferiores à abertura angular do relascópio de Bitterlich, o equipamento pode subestimar os valores. Por outro lado, quando há árvores em classe diamétrica maior, que se enquadram na abertura angular do relascópio, e não havendo falhas no plantio, este método pode superestimar os valores. Assim sendo, se não houver certa homogeneidade dessas variáveis no plantio, o coeficiente de variação e o erro de amostragem para estas estimativas serão elevados.

O método de Prodan apresentou a menor precisão para estimativas de DAP, número de árvores, volume e área basal, por unidade de área (Tabela 1). Como na aplicação deste método são contabilizadas apenas seis árvores, se houver uma grande variação entre os DAPs desses indivíduos, também haverá um maior coeficiente de variação e, conseqüentemente, maior erro de amostragem para estimativa do diâmetro médio. Neste método a seleção das árvores é feita com base na proximidade do centro amostral. Para se calcular o número de árvores, leva-se em consideração a área da parcela, que depende do raio de distância da sexta árvore. Portanto, a variação nesta unidade faz com que haja resultados bastante discrepantes, como pode ser comprovado pelo elevado coeficiente de variação. Portanto, quanto mais heterogênea for a distância, maior será o coeficiente de variação e, conseqüentemente, o erro de amostragem.

Couto et al. (1993), trabalhando com parcelas retangulares e o método de Bitterlich em povoamentos

de *Eucalyptus* sp., encontraram maior precisão para estimativa de DAP médio e número médio de árvores com o método de área fixa. Druszcz et al. (2010), trabalhando com formas e estruturas de parcelas de área fixa e com o método de Bitterlich, encontraram resultados semelhantes em plantios de *Pinus* sp., onde a maior precisão encontrada para as estimativas do DAP médio e número médio de árvores foi com o método de área fixa em relação ao método de Bitterlich.

Percebe-se pelos resultados observados neste trabalho que a precisão para as variáveis DAP médio e número de árvores por hectare é mais influenciada pelo tamanho da unidade amostral do que pelo método em si, sendo verificado que os métodos de Bitterlich e Prodan geram unidades amostrais menores.

Para a área basal, a maior precisão deu-se pelo método de Bitterlich, apresentando um erro de amostragem relativo de $\pm 4,47\%$, quase a metade encontrada pelo método de Prodan ($\pm 8,36\%$) e inferior ao método de área fixa ($\pm 6,18\%$). Além do método de Bitterlich alcançar resultados mais precisos para esta variável, deve-se considerar que o tempo de instalação das unidades amostrais de Bitterlich chega a ser pelo menos duas vezes menor. Kirby (1965), trabalhando em povoamentos de *Spruce aspen* utilizando o método de Bitterlich e de área fixa, constatou tempo três a quatro vezes menor para a instalação de unidades amostrais de Bitterlich em relação à unidade amostral de área fixa, além dos dois métodos de amostragem fornecerem estimativas de área basal estatisticamente iguais. Nakajima et al. (1996) obtiveram para as condições das florestas experimentais de Shiragadake (Floresta Mista), Japão, maior precisão para o método de Bitterlich, seguido do método de área fixa e de Strand.

Ainda que o método de área fixa para a estimativa da área basal seja o mais utilizado para a maioria dos inventários florestais, os estudos até aqui encontrados revelam maior precisão do método de Bitterlich, demonstrando o grande potencial deste método para aumentar a precisão na estimativa da área basal em plantios florestais. Segundo Loetsch et al. (1973), devido à probabilidade da amostragem ser proporcional à área basal das árvores quando se utiliza o método de Bitterlich, a área basal por hectare é melhor estimada por este método do que com métodos de área fixa.

Da mesma forma que para a área basal, os resultados apontaram que para a variável volume o método de Bitterlich proporcionou resultados mais precisos. Na

estimativa de volume médio por hectare, o menor erro de amostragem foi para o método de Bitterlich ($\pm 4,30\%$), seguido dos métodos de amostragem de área fixa ($\pm 5,17\%$) e de Prodan ($\pm 9,65\%$).

Em comparação com o método de área fixa, o método de Bitterlich superestimou o volume em $26,15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, o que corresponde a um acréscimo de $20,91\%$. Com o método de Prodan também houve superestimação em $21,77 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em relação ao método de área fixa, que em termos percentuais corresponde a $17,41\%$.

Para florestas plantadas, resultados semelhantes foram descritos por De Cesaro et al. (1994), trabalhando com um povoamento de *Pinus* sp., onde encontraram menor erro relativo para estimativa do volume para o método de Bitterlich, seguido pelo método de área fixa e por último o método de Prodan. Druszcz et al. (2010) também encontraram maior precisão para estimativa de volume pelo método de Bitterlich em um povoamento de *Pinus* sp., em estudo que trabalhou com diferentes formas e estruturas de parcelas de área fixa e com o método de Bitterlich.

3.2 Análise da eficiência relativa

A eficiência relativa para as estimativas das variáveis está apresentada na Tabela 2, sendo que o método que apresentou o maior valor entre os inversos foi o mais eficiente.

Na estimativa do DAP médio, o método de Bitterlich foi o mais eficiente (2,77), diferente do observado por Druszcz et al. (2010) que concluíram que o método de área fixa foi o mais eficiente. A eficiência maior do método de Bitterlich se deve principalmente ao baixo tempo de execução e ao coeficiente de variação, que é semelhante ao observado para o método de área fixa. Além disso, apesar do método de Prodan apresentar o menor tempo entre os demais, foi o que apresentou o maior coeficiente de variação, afetando o resultado de sua eficiência. Eastaugh & Hasenauer (2014) complementam que a seleção de valores adequados de fator de área basal (FAB) pode trazer interferência nos tamanhos da amostra e, portanto, garantir a precisão.

Tabela 2. Eficiência relativa comparada, quando aplicados os métodos de amostragem de área fixa, Bitterlich e Prodan.

Método	Tempo (min.)	DAP (cm)		Árvores (ha)		Área Basal (m ² /ha)		Volume (m ³ /ha)	
		CV%	ER	CV%	ER	CV%	ER	CV%	ER
Área fixa	224,68	5,05	1,74	12,09	0,30	16,56	0,16	13,85	0,23
Bitterlich	113,85	5,63	2,77	15,27	0,37	11,96	1,13	11,51	0,66
Prodan	49,47	9,77	2,12	30,41	0,22	22,39	0,40	25,84	0,30

CV (%) = Coeficiente de variação; ER = Eficiência relativa.

Na estimativa do número de árvores por hectare, o método de Bitterlich foi o mais eficiente (0,37). Moscovich et al. (1991), em trabalho realizado em uma floresta de *Araucaria angustifolia* em São Francisco de Paula, RS, encontraram melhor eficiência relativa para estimativa de número de árvores por hectare pelo método de Strand, seguido do método de Prodan, área fixa e, por último, o método de Bitterlich.

Na estimativa da área basal e volume por hectare, o método de Bitterlich também foi o mais eficiente. O tempo para estimativa de área basal pelo método de Bitterlich foi reduzido praticamente pela metade do tempo total de aplicação do método, pois se estabeleceu a contagem apenas do tempo do giro, apresentando

uma eficiência de 1,13, enquanto o método de Prodan apresentou um valor de 0,40 e o método de área fixa apresentou resultado ainda mais baixo, com apenas 0,16.

Moscovich et al. (1991), em São Francisco de Paula, RS, obtiveram em uma floresta de *Araucaria angustifolia* melhor eficiência relativa para as estimativas de área basal e volume por hectare pelo método de Strand, seguido de Bitterlich, Prodan e área fixa. No entanto, De Cesaro et al. (1994), na estimativa de volume por hectare em povoamento de *Pinus* sp., constataram maior eficiência para o método de área fixa, seguido do método de Bitterlich e Prodan.

Ao analisarmos os resultados obtidos no presente estudo em relação a outros resultados de literatura já

citados, podem-se perceber resultados conflitantes. Isso se deve, em parte, às diferenças relacionadas à espécie em estudo, espaçamento, tratamentos silviculturais e, principalmente, à heterogeneidade no povoamento em estudo, decorrente de falhas e alta amplitude diamétrica. Dessa forma, denota-se a necessidade de métodos no qual este seja mais eficiente para cada situação.

Em inventários florestais, variáveis dendrométricas confiáveis são imprescindíveis para o planejamento florestal, disponibilizando subsídios para avaliação dos estoques de madeira e influenciando na tomada de decisões da empresa florestal. Portanto, a seleção de um método mais preciso é fundamental. As discrepâncias entre os valores encontrados da média e do erro de amostragem para os métodos testados, não significam que determinado método estimou corretamente o volume exato do plantio, pois isso só seria possível com a realização de um inventário 100% (censo). Porém, opta-se por fazer aquele que apresente um menor erro amostral, e que ao mesmo tempo seja mais eficiente. Dessa forma, denota-se a necessidade de métodos de amostragem alternativos e a importância da escolha de um método no qual este seja mais eficiente para cada situação.

Conclusões

O método mais preciso para a estimativa do DAP médio e número de árvores por hectare em um plantio de *Tectona grandis* foi o de área fixa, e para a área basal e volume foi o método de Bitterlich. A eficiência relativa teve como melhor método o de Bitterlich para a estimativa de todas as variáveis estudadas.

A precisão do método não está diretamente associada à eficiência relativa, ou seja, não necessariamente o método que obteve os melhores resultados para a precisão, apresentou os melhores resultados para a eficiência relativa. Dependendo da finalidade do inventário, a precisão não deve ser o único parâmetro a ser levado em consideração. Em inventários com alto rigor quantitativo, opta-se pelo método mais preciso, mas para inventários de levantamento rápido de estoque ou estratégicos, pode optar-se pelos métodos menos convencionais, ou por aquele que apresente maior eficiência relativa.

Apesar de não serem métodos usualmente empregados em larga escala em plantios florestais, os métodos de Prodan e de Bitterlich mostraram-se altamente

eficientes, com destaque para o método de Bitterlich, que apresentou também a maior precisão para estimativa de área basal e volume por hectare.

Referências

- BONETES, L. **Tamanho de parcelas e intensidade amostral para estimar o estoque e índices fitossociológicos em uma Floresta Ombrófila Mista**. 2003. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BRASIL. Ministério de Minas de Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAM Brasil**. Folhas sc. 21. Juremo: Geomorfologia, pedologias, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: 1980. 460 p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 20).
- COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M.; LACERDA, J. S. A Amostragem por pontos na estimativa de área basal em povoamentos de *Eucalyptus* sp. **IPF**, Piracicaba, n. 46, p. 86-95, jan./dez. 1993.
- DE CESARO, A.; ENGEL, O. A.; FINGER, C. A. 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, RS, v. 4, n. 1, p. 97-108, 1994.
- DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, N. Y.; PÉLLICO NETTO, S.; YOSHITANI JÚNIOR, M. Comparação entre os métodos de amostragem de Bitterlich e de área fixa com parcela circular em plantação de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 739-754, out./dez. 2010. DOI: 10.5380/ufpr.v40i4.20326
- EASTAUGH, C. S.; HASENAUER, H. Improved estimates of per-plot basal area from angle count inventories. **IForest: Biogeosciences and Forestry**, v. 7, p. 178-185, 2014. DOI: 10.3832/for1158-007
- FARIAS, C. A.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G. Comparação de métodos de amostragem para análise estrutural de florestas ineqüilíneas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 5, p. 541-548, 2002. DOI: 10.1590/S0100-67622002000500003
- GREGOIRE, T. G.; STÄHL, G.; NAESSET, E.; GOBAKKEN, T.; NELSON, R.; HOLM, S. Model-assisted estimation of biomass in a lidar sample survey in Hedmark County, Norway. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 41, p. 83-95, 2011. DOI: 10.1139/X10-195.
- HOLMSTRÖM, H.; KALLUR, H.; STÄHL, G. Cost-plus-loss analyses of forest inventory strategies based on kNN-assigned reference sample plot data. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 37, n. 3, p. 381-398, 2003.
- HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3. ed. Malabar: Krieger Publishing Company, 1993. 402 p.
- KIRBY, C. L. Accuracy of point sampling in white spruce: aspen stands of Saskatchewan. **Journal of Forestry**, Washington, US, v. 63, n. 12, p. 294-296, Dec. 1965.
- KÖHL, M.; MAGNUSSEN, S.; MARCHETTI, M. **Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory**. London: Springer, 2006. (Tropical forestry). DOI: 10.1007/978-3-540-32572-7_6.

- LOETSCH, P.; ZÖHRER, P.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munich: BLV, 1973. v. 2. 469 p.
- MELLO, J. M. **Análise comparativa de procedimentos amostrais em um remanescente de floresta nativa no município de Lavras**. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- MOSCOVICH, F. A.; BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Comparação de diferentes métodos de amostragem, de área fixa e variável, em uma floresta de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 9, n. 1, p. 173-191, 1991.
- NAESSET, E.; GOBAKKEN, T.; BOLLANDSÅS, O. M.; GREGOIRE, T. G.; NELSON, R.; STÅHL, G. Comparison of precision of biomass estimates in regional field sample surveys and airborne LiDAR-assisted surveys in Hedmark County, Norway. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 130, p. 108–12, 2013. DOI: 10.1016/j.rse.2012.11.010.
- 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**, v. 2, n. 2, p. 137-144, 1996.
- NASCIMENTO, R. G. M.; DA SILVA, L. C. R.; BARBEIRO, L. S. S.; WOJCIECHOWSKI, J. C.; PÉLICO NETTO, S.; MACHADO, S. 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. DOI: 10.1590/01047760201521011266.
- ODA-SOUZA, M.; BATISTA, J. L. F.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; RODRIGUES, R. R. Comparação das estruturas de continuidade espacial em quatro formações florestais do Estado de São Paulo. **Floresta**, Curitiba, n. 3, p. 512-522, 2010.
- PÉLICO NETTO, S.; BRENA, D. **Inventário florestal**. Curitiba, 1997. 316 p.
- SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2. ed. Curitiba: Multi-Graphic; 2009. 316 p.
- SANTOS, F. E. V.; ANDRADE, W. A.; ARAÚJO, J. M.; SANTOS, F. V. Comparação da exatidão das estimativas volumétricas em um povoamento de *Eucalyptus grandis* entre dois métodos assistidos: prodan e quadrantes. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 446–451, 2012.
- SILVA, J. N. M. **Eficiência de diversos tamanhos e formas de unidades de amostra aplicadas em inventário florestal na região do baixo Tapajós**. 1980. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- STÅHL, G.; HOLM, S.; GREGOIRE, T. G.; GOBAKKEN, T.; NAESSET, E.; NELSON, R. Model-based inference for biomass estimation in a Lidar sample survey in Hedmark County, Norway. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 41, p. 96–107, 2011. DOI: 10.1139/X10-161.
- UBIALLI, J. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; ARCE, J. E. Comparação de métodos e processos de amostragem para estudos fitossociológicos em uma floresta ecotonal na região norte mato-grossense. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 511-523, 2009.
- WULDER, M. A.; WHITE, J. C.; NELSON, R. F.; NÆSSET, E.; ØRKA, H. O.; COOPS, N. C.; HILKER, T.; BATER, C. W.; GOBAKKEN, T. Lidar sampling for large-area forest characterization: a review. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 121, p. 196–209, 2012. DOI: 10.1016/j.rse.2012.02.001.