



Sociedade Cultural e Educacional de Garça
Faculdade de Ensino Superior e Formação Integral – FAEF

Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal da FAEF

ISSN 1678-3867

XVIII – Volume 35 – Número 1 – Fevereiro de 2020

AMOSTRAGEM COM REPETIÇÃO PARCIAL VERSUS AMOSTRAGEM CASUAL SIMPLES EM INVENTÁRIOS FLORESTAIS DE *Eucalyptus* sp.

BERTOLOTO, William Oswaldo¹; BERNARDI, Lucas Kröhling²;
THIERSCH, Mônica Fabiana Bento Moreira³; PÁDUA, Franciane Andrade de⁴;
THIERSCH, Cláudio Roberto⁵

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo avaliar a Amostragem com Repetição Parcial (ARP), com diferentes proporções de parcelas fixas e temporárias em idades sucessivas, em comparação à Amostragem Casual Simples (ACS). A ARP apresentou melhor precisão que a ACS para diferentes percentuais de parcelas fixas e temporárias, devendo-se utilizar no mínimo 35% de parcelas fixas na ARP para obter precisão semelhante à da ACS com intensidade amostral próxima à soma do número de parcelas fixas e temporárias. Espera-se que com dados de inventário florestal contínuo a ARP possa melhorar a precisão da estimativa do estoque presente sem aumentar o esforço amostral.

Palavras-chave: Planos amostrais; parcelas permanentes; parcelas temporárias.

ABSTRACT - The present study aimed to compare Sampling with Partial Repetition (ARP), with different proportions of fixed and temporary plots in successive ages, with simple random sampling (ACS). ARP showed better precision than ACS for different percentages of fixed and temporary plots and should be used at least 35% of the fixed plots at ARP to obtain accuracy similar to the ACS with sampling intensity close to the sum of the number of temporary and fixed plots. It is expected that, in stands with continuous forest inventory data ARP can improve the accuracy without increasing sampling effort.

Keywords: sampling plans, permanent plots, temporary plots.

¹ Eng. Florestal – Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, 18052-780, Sorocaba, SP, Brasil. w.bertoloto2@florestal.eng.br;

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, 18052-780, Sorocaba, SP, Brasil. bernardilucas93@gmail.com;

³ Docente do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Departamento de Administração, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, 18052-780, Sorocaba, SP, Brasil. monicathiersch@ufscar.br;

⁴ Docente do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, 18052-780, Sorocaba, SP, Brasil. franciane@ufscar.br;

⁵ Docente do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, 18052-780, Sorocaba, SP, Brasil. crthiersch@ufscar.br.

1. INTRODUÇÃO

A quantificação do volume sólido em povoamentos florestais é imprescindível para a implementação de planos de manejo. Para quantificar esse volume, executa-se um inventário florestal, que consiste na medição de características dendrométricas de parte da população, isto é, de unidades amostrais ou parcelas, para, posteriormente, extrapolar os resultados para a área total. Assim, visando planejar as operações florestais, têm-se estimativas da quantidade e da distribuição da madeira disponível (LEITE & ANDRADE, 2002).

Dentre as diferentes modalidades de inventários florestais, os inventários sucessivos são de grande importância, tendo em vista que, permitem a construção de modelos de predição e projeção da produção, a avaliação do crescimento e do manejo adotado na condução dos povoamentos florestais e a definição de planos de suprimento baseados na otimização de produção florestal (SCOLFORO & MELLO, 2006).

Existem três procedimentos básicos de inventários sucessivos: inventário sucessivo independente (ISI), que faz uso somente de parcelas temporárias; inventário florestal contínuo (IFC) que faz uso exclusivo de parcelas permanentes; dupla amostragem (DA), no qual se utilizam parcelas permanentes e temporárias, enquadrando-se nesta categoria a amostragem com repetição parcial (ARP).

As parcelas permanentes são adequadas para estimar o crescimento, mas a intensidade de amostragem é tipicamente baixa para a estimativa do volume atual de forma eficiente, por causa do custo de parcelas permanentes; por outro lado, as parcelas temporárias são excelentes para estimar o volume corrente, mas a estimativa do crescimento apresenta alto valor de variância. (SHIVER & BORDERS, 1996). Desta forma, considerando que o Inventário Florestal Contínuo (IFC) fornece a melhor estimativa de crescimento e as parcelas temporárias oferecem a melhor estimativa do volume atual, a ARP permite boas estimativas de crescimento e volume atual, uma vez que prevê a alocação de parcelas permanente e temporárias.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a ARP, com diferentes proporções de parcelas fixas e temporárias, em comparação à Amostragem Casual Simples (ACS), na quantificação do volume sólido de madeira de um povoamento clonal de *Eucalyptus* sp.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Localização

O plantio em que se realizou o inventário é do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, localizado no município de Votorantim, estado de São Paulo, Brasil. O município encontra-se na região de Sorocaba (sudoeste do Estado) e faz divisa com os municípios de Sorocaba, Alumínio, Ibiúna, Piedade e Salto de Pirapora.

Amostragem

Foram utilizadas 49 parcelas circulares de 500 m² distribuídas ao acaso na área de estudo, sendo que, as mensurações foram realizadas quando os plantios completaram 4 e 5 anos de idade. Em cada unidade amostral e em cada idade de medição foram mensurados os diâmetros à altura do peito de todas as árvores e as alturas totais de 10 árvores centrais e de 5 dominantes.

Formulação da ARP

Conforme o conceito da ARP e, utilizando a formulação apresentada por Ware e Cunia (1962), foi considerada uma amostra de “m” unidades permanentes, as quais foram remedidas em uma segunda ocasião, estabelecendo uma relação entre os valores de Xi e Yi, já que são referentes às mesmas parcelas. Ainda na primeira ocasião, foram lançadas e medidas parcelas temporárias (Xui), as quais não foram remedidas na segunda ocasião. Na segunda ocasião, foram obtidas as observações Ynh, de amostras lançadas somente na segunda ocasião.

Considerando as amostras provenientes das parcelas permanentes e temporárias da 1^a e 2^a ocasião, inicialmente foram calculadas quatro médias aritméticas dos volumes, bem como, as respectivas variâncias, sendo para a primeira ocasião:

$$\bar{x}_u = \frac{\sum_{j=1}^u X_{uj}}{u} \quad 01$$

$$S_{x_u}^2 = \frac{\sum_{j=1}^u (x_{uj} - \bar{x}_u)^2}{u - 1} \quad 02$$

$$\bar{x}_m = \frac{\sum_{j=1}^m X_{mj}}{m} \quad 03$$

$$S_{x_m}^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (x_{mj} - \bar{x}_m)^2}{m - 1} \quad 04$$

E para a segunda ocasião:

$$\bar{y}_m = \frac{\sum_{j=1}^m Y_{mj}}{m} \quad 05$$

$$S_{y_m}^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{mj} - \bar{y}_m)^2}{m - 1} \quad 06$$

$$\bar{y}_n = \frac{\sum_{h=1}^n Y_{nh}}{n} \quad 07$$

$$S_{y_n}^2 = \frac{\sum_{h=1}^n (y_{nh} - \bar{y}_n)^2}{n - 1} \quad 08$$

Em que:

\bar{x}_u é média simples dos volumes das x_{ui} unidades amostrais e $S_{x_u}^2$ sua variância;

u são as unidades de amostras temporárias, lançadas independentemente na primeira ocasião;

x_{ui} é o volume na primeira ocasião na i -ésima unidade amostral temporária;

\bar{x}_m é a média simples dos volumes das x_{mj} unidades amostrais e $S_{x_m}^2$ sua variância;

x_{mj} é o volume na primeira ocasião na j -ésima unidade amostral;

m são as unidades de amostras permanentes, lançadas na primeira ocasião e remeidas nas ocasiões subsequentes;

\bar{y}_m é a média simples dos volumes das y_{mj} unidades amostrais, sendo $S_{y_m}^2$ sua variância;

y_{mj} o volume na segunda ocasião na j -ésima unidade amostral;

\bar{y}_n é a média simples dos volumes das y_{nh} unidades amostrais e $S_{y_n}^2$ sua variância;

y_{nh} é o volume na segunda ocasião nas h -ésimas novas unidades amostrais; e n são as unidades de amostra temporárias novas e independentes, lançadas na segunda ocasião.

Foram obtidas, também, as médias para as parcelas temporárias e permanentes da primeira, e também da segunda ocasião, assim como suas variâncias, sendo para a primeira ocasião:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum_{i=1}^u X_{ui} + \sum_{j=1}^m X_{mj}}{u + m} \\ &= P_u \bar{x}_u + P_m \bar{x}_m \end{aligned} \quad 09$$

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad 10$$

E para a segunda ocasião:

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{\sum_{i=1}^m X_{mj} + \sum_{j=1}^n X_{nh}}{u + m} \\ &= Q_m \bar{y}_m + Q_n \bar{y}_n \end{aligned} \quad 11$$

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1} \quad 12$$

Em que:

- P_u é a proporção de unidades amostrais temporárias (u) tomadas nas N1 unidades da primeira ocasião;
- P_m a proporção de unidades amostrais permanentes (u) tomadas nas N1 unidades da primeira ocasião;
- Q_m , a proporção de unidades amostrais permanentes (m) tomadas nas N2 unidades da segunda ocasião; e
- Q_n a proporção de unidades amostrais novas (n) tomadas nas N2 unidades da segunda ocasião.

De posse da covariância de x em y (S_{xy}), foi calculado o coeficiente angular de regressão linear simples de y em x (β_{YX}) e o primeiro componente do estimador de volume corrente na ARP (y_1), assim como sua variância ($S_{y_1}^2$), sendo:

$$\beta_{YX} = \frac{S_{xy}}{S_{x_m}^2}, \text{ sendo que, } S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} \quad 13$$

$$y_1 = \bar{y}_m + \beta_{yx}(\bar{x} - \bar{x}_m) \quad 14$$

$$S_{y_1}^2 = S_{y.x}^2 \left[\frac{1}{m} + \frac{(\bar{x} - \bar{x}_m)^2}{SS_{x_m}} \right] + \frac{S_{y_m}^2 - S_{y.x}^2}{n_1} \quad 15$$

Em que:

$S_{y.x}^2$ é a variância de y em x; e

SS_{x_m} a soma corrigida dos quadrados de x, utilizando apenas parcelas permanentes.

O volume foi então calculado a partir da expressão:

$$\bar{y}_{SPR} = \frac{W_I \bar{y}_I + W_{II} \bar{y}_{II}}{W} \quad 16$$

Em que:

$$W = W_I + W_{II} \quad 17$$

$$W_I = \frac{1}{S_{y_I}^2} \quad 18$$

$$W_{II} = \frac{1}{S_{y_{II}}^2} \quad 19$$

O erro padrão da média foi assim calculado:

$$S_{\bar{y}_{SPR}}^2 \cong \frac{1 + 4W_I W_{II} \left(\frac{1}{(m-1)} + \frac{1}{(n-1)} \right)}{W^2} \quad 20$$

$$S_{\bar{y}_{SPR}} \cong \sqrt{S_{\bar{y}_{SPR}}^2} \quad 21$$

Formulação da ACS

Considerando o plano amostral como sendo uma amostragem casual simples (ACS), a média amostral foi obtida de acordo com a equação (22),

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad 22$$

Em que:

n é o número de parcelas (unidades amostrais); e

y_i , o volume da i ésima unidade amostral.

O desvio padrão (S_y) foi obtido por meio da extração da raiz da variância (S_y^2), sendo:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n - 1} \quad 23$$

$$S_y = \sqrt{S_y^2} \quad 24$$

O erro padrão da média foi obtido conforme a expressão 25,

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{S_y^2}{n}} \quad 25$$

O erro do inventário, na unidade de mensuração (m^3) e em porcentagem, foi obtido por meio das expressões 26 e 27,

$$E = t \times S_{\bar{y}} \quad 26$$

$$E\% = \frac{t \times S_{\bar{y}}}{\bar{y} \times 100} \quad 27$$

Onde t , é o quantil da distribuição t de Student com $(n-1)$ graus de liberdade.

O nível de significância tanto para ARP, como para ACS foi de 5%.

Avaliação dos planos amostrais

O processamento dos dados foi realizado utilizando-se o software R 2.11.1 (R Core Team, 2013).

Visando selecionar a proporção de parcelas fixas e temporárias que resulta na melhor precisão da ARP, foram testadas as seguintes proporções de parcelas fixas: 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75% e 80%. Descontadas as parcelas fixas, as demais parcelas foram consideradas temporárias, sendo que, em 50% delas foram utilizadas apenas as medições da 1ª ocasião e na outra metade das parcelas foram utilizadas apenas as medições da 2ª ocasião.

Posteriormente, utilizou-se destas proporções, apenas a última medição das parcelas fixas e as temporárias da segunda ocasião (volume corrente) para aplicação da Amostragem Casual Simples.

Visando comparar os erros de estimativa da ARP, com diferentes proporções de parcelas fixas e temporárias, com a ACS com diferentes intensidades amostrais, foram realizados, para cada uma destas combinações, 10000 sorteios dentre as 49 parcelas disponíveis. Desta forma, para cada sorteio foi calculado o erro do inventário e, por conseguinte, a média do erro do inventário das 10000 possíveis amostras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os erros percentuais médios dos inventários considerando a ACS e a ARP com diferentes proporções de parcelas fixas e temporárias podem ser observados na Tabela 1e Figura 1.

Tabela 1. Erros percentuais médios dos inventários considerando a ACS e a ARP com diferentes proporções de parcelas fixas e temporárias

PF	PT2	PFT2	EARP	EACS
15	44,90	59,90	6,06	7,15
20	42,86	62,86	5,91	7,02
25	38,78	63,78	5,80	6,90
30	36,73	66,73	5,76	6,77
35	34,69	69,69	5,70	6,57
40	32,65	72,65	5,67	6,46
45	28,57	73,57	5,65	6,36
50	26,53	76,53	5,64	6,28
55	24,49	79,49	5,62	6,19
60	22,45	82,45	5,61	6,02
65	20,41	85,41	5,60	5,94
70	16,33	86,33	5,60	5,87
75	14,29	89,29	5,59	5,80
80	12,24	92,24	5,59	5,66

Onde: PF- percentual de parcelas fixas, PT2 - percentual de parcelas temporárias mensuradas na segunda ocasião, PFT2 - Soma do PF e PT2 utilizadas na ACS, EARP - Erro percentual médio da ARP e EACS - Erro percentual médio da ACS.

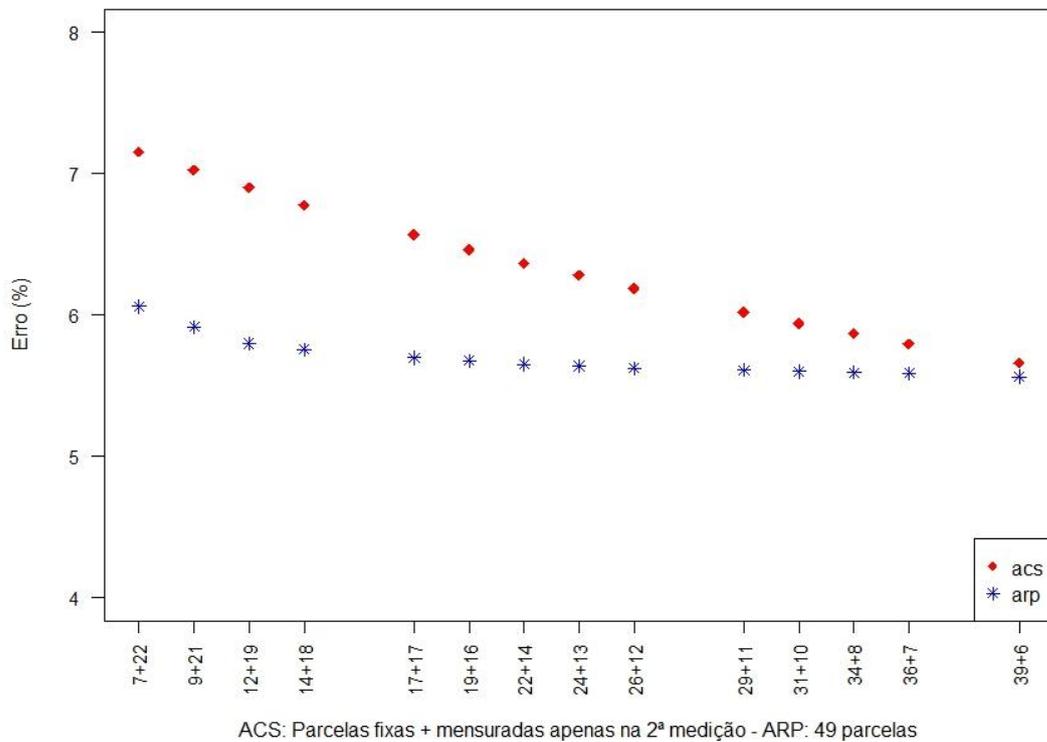


Figura 1. Erros percentuais médios dos inventários considerando a ACS e a ARP com diferentes proporções de parcelas fixas e temporárias.

Como se pode observar na Tabela 1 e na Figura 1, independente das proporções de parcelas fixas e temporárias testadas a ARP apresentou melhores precisões que a ACS, tendendo, como esperado, para igualdade entre os planos amostrais quando a porcentagem de parcelas fixas tende para 100%.

As melhores precisões da ARP foram obtidas quando os percentuais de parcelas fixas foram iguais ou superiores a 35%, obtendo erros do inventário semelhantes à ACS com 92,24% das parcelas disponíveis (45 parcelas). Sabendo-se que quanto menor a porcentagem de parcelas fixas, menor será o esforço amostral, então, a porcentagem ideal de parcelas fixas foi de 35%.

Em função destes resultados pode-se inferir que para áreas monitoradas a partir de inventários florestais contínuos (IFC), quando houver a necessidade da estimativa do estoque presente com maior precisão, como é o caso do inventário pré-corte (IPC), a ARP é mais

indicada do que a ACS. Por exemplo, considerando um IFC cuja intensidade amostral é de 1 parcela a cada 6 ha, caso no IPC consideremos que 3 parcelas são fixas e novas 3 parcelas serão lançadas, a nova intensidade amostral considerando as duas medições subsequentes será de 1 parcela a cada 4 ha sem, contudo, aumentar o esforço de campo.

4. CONCLUSÃO

A amostragem com repetição parcial (ARP) apresentou melhores precisões que a amostragem casual simples (ACS) para diferentes percentuais de parcelas fixas e temporárias.

Deve-se utilizar no mínimo 35% de parcelas fixas na ARP para obter precisão semelhante à da ACS com intensidade amostral próxima à soma do número de parcelas fixas e temporárias.

Em povoamento já monitorados via inventário florestal contínuo, a ARP tem potencial para melhorar a precisão da estimativa do estoque presente, sem, contudo, aumentar o esforço amostral.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRENA, D. A. **Comparação dos Métodos de inventários florestais sucessivos em relação a amostragem com repetição parcial, aplicados em uma população estratificada.** 1979. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

COUTO, H. T. Z.; BATISTA, J. L. F.; RODRIGUES, L. C. E. Mensuração e Gerenciamento de Pequenas Florestas. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v. 5, p.1-37, nov. 1989.

COCHRAN, W. G. **Técnicas de Amostragem.** Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1965. 531p.

GERING, L. R.; SILVA, J. A. A.; MACHADO, S. A. Inventário florestal contínuo com reposição parcial de unidades amostrais. **Floresta**, Curitiba, v. 24, n.1/2, p. 2-22, 1994.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n.3, p.321-328, 2002.

R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

SCOLFORO, J. R. S; MELLO, J. M. **Inventário Florestal**. Lavras: Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – FAEPE, 2006.

SHIVER, B. D.; BORDERS, B. E. **Sampling techniques for forest resource inventory**. New Jersey, 1996. 356p.

WARE, K. D., CUNIA, T. Continuous forest inventory with partial replacement of samples. **Forest. Science**. Monograph 3, 1962. 50 p.