

**COMPARAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM NA PRECISÃO DE  
INVENTÁRIO FLORESTAL EM FRAGMENTO DE FLORESTA ESTACIONAL  
SEMIDECIDUAL**

LUIZ HENRIQUE V. ALVARENGA<sup>1</sup>, ANA LUIZA R. PINTO<sup>2</sup>; SÉRGIO TEIXEIRA DA SILVA<sup>3</sup>,  
THIZA FALQUETO ALTOÉ<sup>4</sup>, VINÍCIUS AUGUSTO MORAIS<sup>5</sup>, JOSÉ MARCIO DE MELLO<sup>6</sup>

**RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo comparar diferentes procedimentos de amostragem para a precisão do parâmetro volume em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, situado no município de Lavras, em Minas Gerais. Para tal, foram utilizados dados oriundos de um inventário quantitativo realizado em 1996, onde foram medidas 126 parcelas, de 20x20m, cabíveis na área. Nessas parcelas foi mensurada a circunferência a 1,30m de altura (CAP) de todas as árvores com CAP maior que 15,7cm, e o volume total da parcela foi obtido por meio do somatório dos volumes individuais de cada árvore, o qual foi obtido a partir de uma equação de simples entrada. Os procedimentos amostrais analisados foram a amostragem casual simples (ACS), a amostragem sistemática (AS) e a amostragem casual estratificada (ACE) com pré estratificação a partir de imagens de satélite e com pós estratificação pelo método do inverso quadrado da distância (IQD). Para cada procedimento foram utilizadas 22 parcelas distribuídas no fragmento e a comparação entre eles foi feita a partir do erro de amostragem. Dessa maneira, dentre os procedimentos de amostragem analisados, a amostragem casual estratificada com pós estratificação utilizando o IQD, apresentou melhor desempenho que os demais, já que foi responsável pelo menor erro do inventário (7,18%).

**Palavras-chave:** Amostragem casual simples, estratificação, amostragem sistemática.

**INTRODUÇÃO**

Os povoamentos florestais nativos ocorrem em extensas áreas e estão sujeitos a uma variedade de fatores que influenciam sua produtividade como: condições de solo, clima, fisiografia, idade, material genético, dentre outros, que afetam o crescimento, a mortalidade, a densidade e a variabilidade de espécies, evidenciando a complexidade do sistema. Assim, conhecer a volumetria de madeira existente nesta situação exigirá a adoção de uma série de critérios e metodologias técnicas, para que o inventário florestal realizado seja representativo e forneça resultados consistentes e confiáveis sobre os parâmetros analisados (SILVA, 2009).

O inventário florestal, sustentado pela teoria da amostragem, é a forma utilizada para obtenção de informações quali-quantitativas de uma floresta de maneira precisa. De acordo com Scolforo e Mello (2006) os estimadores do inventário florestal são mais precisos quanto maior for a homogeneidade da população, isto devido à diminuição da variabilidade dentro da população. O uso de procedimentos adequados de amostragem também é fator preponderante no aumento de precisão do inventário. Conforme os mesmos autores, a amostragem casual estratificada é o procedimento utilizado quando se deseja dividir a área em subpopulações homogêneas. Sabe-se que florestas nativas são bastante heterogêneas e que a estratificação, quando possível, se torna complexa e onerosa.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Eng. Florestal DCF/UFLA, lhvalvarenga@gmail.com

<sup>2</sup> Doutoranda em Eng. Florestal DCF/UFLA, alrufini@hotmail.com

<sup>3</sup> Mestrando em Eng. Florestal DCF/UFLA, setesi@uol.com.br

<sup>4</sup> Mestranda em Eng. Florestal DCF/UFLA, thizaaltoe@gmail.com

<sup>5</sup> Mestrando em Eng. Florestal DCF/UFLA, vemorais@bol.com.br

<sup>6</sup> Professor Adjunto DCF/UFLA, josemarcio@dcf.ufla.br

O emprego de técnicas de processamento digital de imagens provenientes de sensoriamento remoto (imagens orbitais ou aerolevantamentos) possibilitam segmentar e classificar uma determinada área em grupos ou regiões de maior homogeneidade de acordo com critérios pré-estabelecidos, considerando-se para isso semelhanças entre feições e objetos vizinhos (DEFINIENS, 2003).

Outra maneira de se obter estratos homogêneos seria por meio da pós estratificação com base na característica de interesse. Kanegae (2006) afirma que o uso de interpoladores espaciais é uma ferramenta valiosa para controlar a variabilidade com base na autocorrelação entre as unidades amostrais.

Dessa maneira, o objetivo deste estudo foi comparar os procedimentos de amostragem: Amostragem casual simples, Amostragem sistemática e amostragem casual estratificada com pré estratificação baseada no uso de geotecnologia e com pós estratificação baseada em interpoladores espaciais, para o parâmetro volume, em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, situado no município de Lavras, em Minas Gerais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Descrição da área de estudo**

O trabalho foi conduzido em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana, com área de 6,20 hectares, situada no município de Lavras MG, nas coordenadas 21°13'40"S e 44°57'50"W, a uma altitude de 925m. O clima do município é do tipo Cwb de Koppen (mesotérmico, com verões brandos e suaves, e estiagem de inverno). A precipitação média anual é de 1530mm e a temperatura média anual é de 19,4°, a média pluviométrica mensal na estação chuvosa é de 254mm e na estação seca é de 25mm (DNMET, 1992). O solo é do tipo latossolo roxo distrófico (epialico) textura muito argilosa (CURI et. al., 1990). O relevo do interior do remanescente é levemente ondulado, com declive variando de 5% e 15% (BRITO et al., 2007).

### **Levantamento dos dados**

Os dados foram obtidos de um inventário quantitativo realizado em 1996. A área considerada foi dividida em parcelas de 20x20m (400m<sup>2</sup>), totalizando 126 parcelas. Em todas as parcelas, foram mensuradas as circunferências a 1,30 m (CAP) dos indivíduos com a CAP acima de 15,7 cm.

O volume total da parcela foi obtido por meio do somatório dos volumes individuais de cada árvore. Este por sua vez foi obtido por uma equação de simples entrada demonstrada abaixo.

$$V = 0,005698 - 0,0027 \times DAP + 0,0005226 \times DAP^2$$

em que:

V= volume total com casca (m<sup>3</sup>)

DAP= diâmetro (cm) à 1,30m do solo

Com base no inventário foi obtido a base de dados de 126 parcelas com seus volumes totais mensurados. A partir dessa base de dados, será simulado inventários florestais por diferentes tipos de procedimentos de amostragem, os quais serão comparados com base nas estimativas das respectivas precisões.

### **Procedimentos de amostragem**

Foram utilizados 3 procedimentos de amostragem: Amostragem casual simples (ACS); Amostragem casual estratificada (ACE) e Amostragem sistemática (AS). Os inventários florestais foram simulados conforme a peculiaridade de cada procedimento, utilizando uma intensidade amostral de 22 parcelas de 400m<sup>2</sup>. Mais detalhes sobre estes procedimentos assim como suas formulações podem ser encontrados em Scolforo e Mello (2006).

### **Pré-estratificação via imagem de satélite**

As imagens foram obtidas no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e receberam tratamento para geo referenciamento e correção de cores. Posteriormente, realizou-se um recorte das cenas, de modo a evidenciar apenas o local onde se situa o fragmento.

Para se obter os estratos foram empregadas técnicas de interpretação visual das imagens, compreendendo as fases de segmentação e classificação. Na segmentação, porções menores de

aparência semelhante são delimitadas e codificadas. Na classificação agrupam-se os diversos segmentos que se equiparam, baseados na observação de cor e textura. As classes são então identificadas como estratos.

Foram definidos 3 estratos conforme a figura 1 e as parcelas foram aleatorizadas proporcional à área de cada estrato.

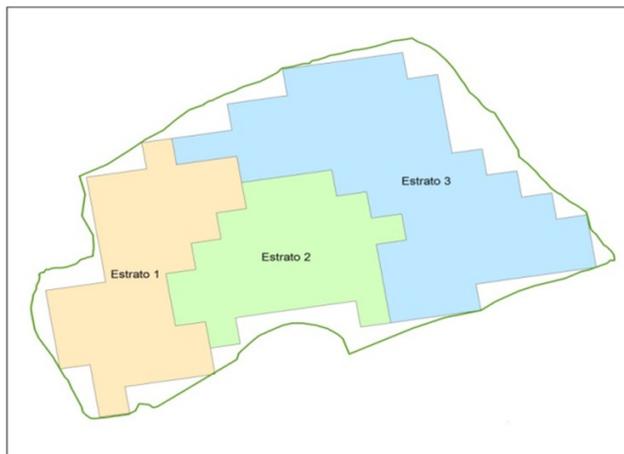


Figura 1- Esquema da área com estratos gerados pela pré-estratificação.

### **Pós-estratificação via IQD**

Outro método de estratificação empregado foi através do inverso do quadrado das distâncias (IQD). O inverso do quadrado da distância é um interpolador determinístico que permite estimar valores para pontos não amostrados com base em pontos amostrados. Este interpolador atribui pesos diferentes para cada amostra com base na distância em que estas se encontram do ponto a ser amostrado.

Para a realização do IQD o centro de cada parcela foi geo referenciada. Através do software ArcGIS 9.3 foi possível a obtenção de dois estratos (classes de produtividade) conforme a figura 2. (ESRI, 2001)

Procedeu-se, também, a sobreposição das parcelas a esta estratificação, permitindo obter uma classificação das parcelas por estrato. Posteriormente, realizou-se o sorteio de parcelas, proporcional à área de cada estrato, procedendo então o processamento do inventário.

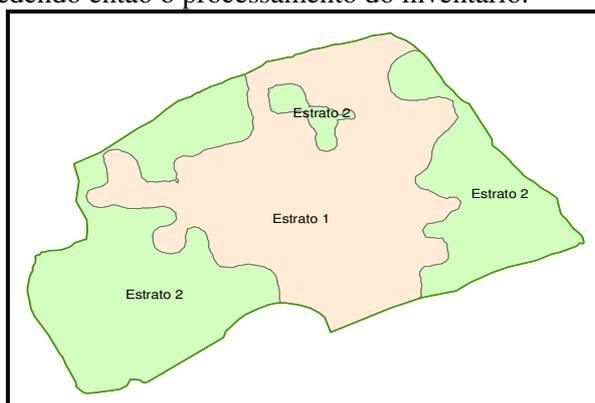


Figura 2- Esquema da área com estratos gerados pela pós-estratificação.

### **Análise dos dados**

A comparação dos procedimentos de amostragem se deu através do processamento dos inventários conforme os estimadores de cada procedimento. Verificou-se qual foi o menor erro (mais preciso) e qual foi o mais exato. A exatidão foi gerada pela diferença entre o real e o estimado em porcentagem. As formulações para processamento se encontram em Péllico Netto e Brena (1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram amostradas 22 parcelas em todos os delineamentos amostrais analisados, sendo que para a amostragem casual simples, as parcelas foram aleatorizadas em toda área; na amostragem sistemática foram distribuídas de maneira a amostrar toda a área do fragmento e, na amostragem estratificada, foram aleatorizadas 6 parcelas no Estrato I, 6 parcelas no Estrato II e 10 parcelas no Estrato III (para a pré estratificação), e foram aleatorizadas 11 parcelas no Estrato I e 11 parcelas no Estrato II (para a pós estratificação), conforme ilustrado na Figura 3.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados do inventário para a variável volume para a amostragem casual simples, amostragem sistemática e amostragem estratificada com pré estratificação e amostragem estratificada com pós estratificação, considerando uma área total de 5,04ha, uma população estatística (N) igual a 126 parcelas de 400m<sup>2</sup>, e um valor de t tabelado com 95% de confiança e (n-1) graus de liberdade igual a 2,0796. O valor do parâmetro  $\mu$  foi igual a 4,51 sobre o qual será calculada a exatidão. São apresentadas as estimativas de média e desvio padrão da média assim como os erros, absoluto e percentual, e intervalo de confiança (IC).

Tabela 1- Inventário para o parâmetro volume (m<sup>3</sup>) para cada método de amostragem.

|                                 | ACS    | AS     | ACE-<br>Imagem | ACE-IQD |
|---------------------------------|--------|--------|----------------|---------|
| <b>Média</b>                    | 4,87   | 4,28   | 4,61           | 4,69    |
| <b><math>S_{\bar{x}}</math></b> | 0,3336 | 0,2888 | 1,61           | 0,81    |
| <b>Erro (m<sup>3</sup>)</b>     | 0,6937 | 0,6006 | 0,6530         | 0,4139  |
| <b>Erro (%)</b>                 | 14,24  | 14,03  | 14,16          | 7,18    |
| <b>Exatidão (%)</b>             | 7,84   | 5,22   | 2,08           | 3,85    |

De acordo com a tabela 1, pode-se afirmar que, dentre os procedimentos de amostragem analisados, a amostragem casual estratificada com pós estratificação utilizando o IQD, apresentou melhor desempenho que os demais, já que esta apresentou o menor erro do inventário (7,18%). Isso ocorreu devido ao fato de que ao se estratificar a floresta, diminuem-se as fontes de variação e, conseqüentemente, o erro de amostragem, ou seja, cada estrato é mais homogêneo do que o fragmento como um todo. O procedimento mais exato foi a amostragem casual estratificada com pré estratificação (2,08%), mostrando que, nem sempre, o inventário mais exato é o mais preciso. A exatidão é dependente da amostra, podendo levar a tomada de decisões erradas, quando for utilizada apenas essa estatística.

Entretanto, o procedimento de amostragem casual estratificada com pré estratificação, a partir de imagem de satélite, não apresentou desempenho satisfatório, como era esperado. Tal fato pode ter ocorrido, pois na imagem de LandSat não foi possível identificar áreas com maior ou menor heterogeneidade, devido às dimensões do fragmento e, ao longo tempo, pelo fato deste se encontrar sem intervenções antrópicas, impossibilitando que classificações fossem realizadas a partir desta imagem. Já na cena do satélite Rapid Eye foi possível observar pequenas variações de textura e cor, mas, ainda assim, não foi possível uma boa estratificação, o que influenciou diretamente no resultado do inventário. Silva (2009) obteve ganhos expressivo de precisão para inventários em cerrado, por meio do uso da geotecnologia para estratificação, mostrando que o uso de imagens de satélite podem ser eficientes em outras situações.

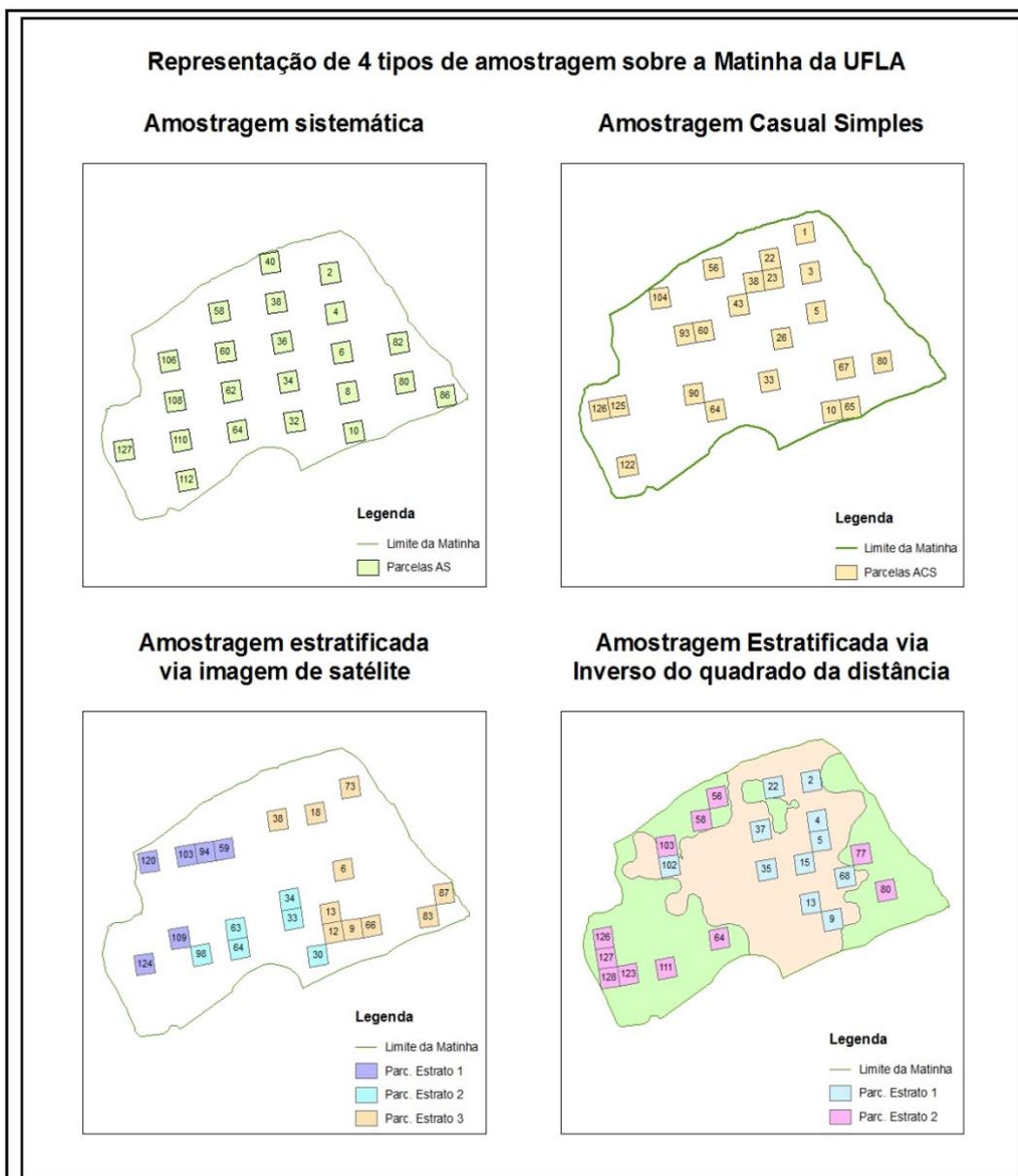


Figura 3- Esquema de distribuição das parcelas por diferentes procedimentos de amostragem.

## CONCLUSÃO

A amostragem casual estratificada com pós estratificação, a partir do método do inverso quadrado da distância (IQD), foi o procedimento amostral mais preciso, considerando o parâmetro volume de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, situado no município Lavras em Minas Gerais.

## REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

BRITO, A. de; FERREIRA, M. Z.; MELLO, J. M. de; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de; ACERBI JUNIOR, F. W. Comparação entre os métodos de quadrante e Prodan para análises florísticas, fitossociológica e volumétrica. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 399-405, out./dez. 2007

CURI, N.; LIMA, J.M.; ANDRADE, H.; GUALBERTO, V. Geomorfologia, física, química e mineralogia dos principais solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Prática**, Lavras, v.14, 297-307, 1990.

DEFINIENS, I. **Ecognition user guide 3**. München: Definiens Imaging, 2003. 413 p..

DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Ministério da Agricultura. **Normais climatológicas**: 1961-1990, Brasília-DF, 1992, 132p.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geostatistical analyst**. Redlands, 2001. 300 p.

KANEGAE JR., H.; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, A.D. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de Eucalyptus sp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 123-136, 2006.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba PR. Editorado pelos autores, 1997. 316p.

SILVA; S.T. **Estratificação da fitofisionomia cerrado para inventário florestal utilizando geotecnologia**. 68p. Dissertação (mestrado). Lavras : UFLA, 2009.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 561 p.: il.