

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

JOSÉ RENATO AZEDIAS CAMPOS

ANÁLISE DE DIFERENTES TAMANHOS E COMPOSIÇÕES DE
AMOSTRAS NA ACURÁCIA DE INVENTÁRIOS FLORESTAIS

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2017

JOSÉ RENATO AZEDIAS CAMPOS

ANÁLISE DE DIFERENTES TAMANHOS E COMPOSIÇÕES DE
AMOSTRAS NA ACURÁCIA DE INVENTÁRIOS FLORESTAIS

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciências Florestais
e da Madeira da Universidade
Federal do Espírito Santo, como
requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2017

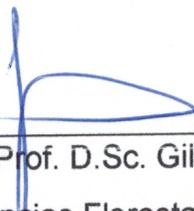
JOSÉ RENATO AZEDIAS CAMPOS

ANÁLISE DE DIFERENTES TAMANHOS E COMPOSIÇÕES DE AMOSTRAS
NA ACURÁCIA DE INVENTÁRIOS FLORESTAIS

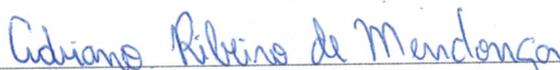
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovado em: 13 de julho de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA



Orientador: Prof. D.Sc. Gilson Fernandes da Silva
Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (UFES)



Prof. D.Sc. Adriano Ribeiro de Mendonça
Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (UFES)



D.Sc. Leonardo Job Biali
Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (UFES)

A Deus, pela vida.

Aos meus pais, Antônio Sergio e Ana Claudia pelo incentivo, carinho, apoio, bons exemplos e amor com que me prepararam para a vida.

Aos meus irmãos, pelo incentivo, palavras confortantes e apoio.

A minha namorada, Rachel, pela paciência, apoio e compreensão.

DEDICO

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido e não na vitória propriamente dita. ”

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e sempre me guiou durante todos esses anos.

Aos meus pais Antônio Sergio e Ana Claudia, meus irmãos José Mario, Rodrigo, José Claudio e Patrícia, e a minha namorada Rachel pelo apoio, paciência, compreensão, incentivo e confiança.

Ao professor Gilson Fernandes da Silva pela orientação, ensinamentos e por abrir as portas do Laboratório de Manejo e Mensuração Florestal e permitir a realização deste trabalho.

Ao professor Marcos Vinicius Winckler Caldeira por ter me dado a primeira oportunidade, onde por três anos fui bolsista de iniciação científica.

Aos integrantes do NUPEMASE e do LaMFlor, pela realização dos trabalhos de pesquisa durante a graduação.

Aos doutorandos Danilo, Evandro e Giovanni e ao professor Adriano, pela ajuda com as análises dos dados e pelas valiosas dicas.

A toda a turma de Floresta 2013/1, demais companheiros Floresteiros e aos grandes amigos que fiz ao longo da minha graduação, sem citar nomes para não cometer injustiças. Todos foram importantes nesta caminhada.

Aos amigos e familiares de Piacatuba, Santa Rita de Jacutinga, Rio Pomba, Alegre e aos integrantes e ex-integrantes da República Katapulta, pelos momentos inesquecíveis de muitas risadas, gerando muitas histórias para contar.

A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e os professores que tive ao longo a minha vida, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo verificar a eficácia da metodologia para o cálculo da intensidade amostral ótima na acurácia dos inventários florestais. Os dados foram divididos em duas populações, sendo uma heterogênea, com diferentes idades, e outra mais homogênea, provenientes de um inventário florestal de *Pinus sp*, com 450 unidades amostrais de 0,1 ha. Primeiramente foi realizado uma simulação preliminar a fim de obter um inventário piloto com 100 amostras. Para as amostras que apresentaram o erro de amostragem maior que 10%, foi calculado a intensidade amostral ótima. Posteriormente foi verificado se a intensidade amostral era suficiente para encontrar estimativas da média com erro de no máximo $\pm 10\%$, a 95% de probabilidade, simuladas cada uma dez mil vezes. A partir dessa análise foi possível verificar que os tamanhos e composições de amostras influenciam nos resultados, havendo uma grande variabilidade entre os intervalos de confiança construídos, erro amostral e intensidade amostral, especialmente na população mais heterogênea. De acordo com este estudo, pode-se concluir que a estatística “*t*” de *Student* não funcionou adequadamente para as variáveis avaliadas nas condições definidas neste trabalho e que são necessárias novas abordagens sobre este tema.

Palavras-chave: Erro amostral; Intervalo de Confiança; Estatística “*t*”; Intensidade Amostral Ótima.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Custo e eficiência no inventário florestal	4
2.2 Métodos de amostragem	4
2.3 Intensidade de amostragem.....	7
2.4 Erro de amostragem	9
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Fonte dos dados	11
3.2 Caracterização dos dados	11
3.3 Simulação de amostras do inventário florestal.....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
4.1 Intervalo de confiança	14
4.2 Erro admissível	17
5 CONCLUSÕES	21
6 REFERÊNCIAS.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das populações em estudo.....	11
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dispersão das probabilidades amostrais com o erro de estimação dentro dos intervalos de confiança (IC) em relação à intensidade amostral na Pop.1 (A) e Pop.2 (B), admitindo um erro de $\pm 10\%$ a 95% de probabilidade pela estatística “*t*” de Student..... 15

Figura 2 - Dispersão das probabilidades amostrais com erro amostral não superior ao estabelecido em relação à intensidade amostral na Pop.1 (A) e na Pop.2 (B), admitindo um erro de até $\pm 10\%$ a 95% de probabilidade pela estatística “*t*” de Student..... 18

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande competitividade no mercado de produtos florestais, em razão de suas características edafoclimáticas e do desenvolvimento tecnológico obtido na área de silvicultura (IBÁ, 2015). Tendo em vista os referidos fatores, os plantios florestais no Brasil apresentaram um rápido crescimento nos últimos 30 anos e ocupa uma área de 7,74 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo mais de 90% desta área de plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* (IBGE, 2016).

A crescente demanda por produtos originados de florestas plantadas, principalmente para os setores de papel e celulose, carvoaria e serraria, requer uma avaliação precisa da quantidade e qualidade dos estoques florestais. A avaliação precisa dos recursos florestais, é feita por meio do inventário florestal, que é baseado em técnicas de amostragem que estimam os parâmetros da população com base nas características que estão sendo avaliadas (GUEDES et al., 2012; VIBRANS, 2010). Husch et al. (1993) define inventário florestal como sendo o processo de obtenção de dados qualitativos e quantitativos dos recursos florestais.

Os métodos usados para inventariar populações florestais buscam o menor erro amostral para uma mesma quantidade de trabalho, fixada a precisão desejada para as informações a serem levantadas e que, posteriormente, serão usadas no planejamento da empresa (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). A obtenção dessas informações apresenta custos que aumentam com o grau de detalhamento, precisão requerida, eficiência da forma como as variáveis são obtidas, entre outras informações (DRUSZCZ et al., 2012).

O primeiro passo para se realizar um inventário florestal é definir a intensidade amostral a ser utilizada, com o propósito de garantir estimativas das características desejáveis dignas de confiança e com o erro de amostragem preestabelecido (SOARES; PAULA NETO, 1997). A intensidade amostral ótima pode ser obtida por meio de uma equação proposta por Cochran (1977), em que é necessário um inventário preliminar ou piloto, a fim de encontrar a variância da característica analisada entre as unidades de amostra, por exemplo, o volume. Também é necessário para aplicar a equação o erro admissível (absoluto ou relativo), número de unidades amostrais (para população finitas), e o valor tabelado da estatística “*t*” de *Student*, que define a probabilidade de os eventos ocorrerem.

Esse método de probabilidade (uso de valor “t” tabelado) está consolidado no meio científico a várias décadas, mas recentemente alguns estudos estão contestando a sua aplicação ou até mesmo sua funcionalidade (NUZZO, 2014; WASSERSTEIN; LAZAR, 2016). Também no método da intensidade amostral ótima, amostras com o mesmo tamanho podem gerar valores de intensidade amostral diferentes, em tamanhos e composições, isso se deve pela variação das unidades amostrais.

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. Com isso, o tamanho e a composição de amostras nos processos de amostragem são de fundamental importância, permitindo otimizar a maneira de inventariar. Neste contexto, os custos do inventário estão diretamente relacionados com o tamanho da amostra, bem como a confiabilidade dos resultados expressos pelas medidas estatísticas, especialmente o erro de amostragem e os intervalos de confiança.

1.1 O problema e sua importância

O inventário florestal é uma das operações mais importantes na atividade florestal. Técnicas de amostragens eficientes tentam minimizar os custos e o tempo na busca da precisão previamente estabelecida no inventário florestal. Entretanto, o tamanho e a composição da amostra podem influenciar na acurácia dos resultados. O problema analisado neste estudo é a eficiência da expressão de intensidade amostral ótima na acurácia de inventários florestais.

Este estudo é importante pois auxilia no planejamento do inventário florestal, uma vez que essa atividade visa a obtenção de dados com maior confiabilidade e menores custos, proporcionando uma estimativa mais exata do estoque de madeira.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo geral verificar a eficácia da metodologia para o cálculo da intensidade amostral ótima na acurácia dos inventários florestais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a eficiência da estatística “ t ” aplicada no método da intensidade amostral ótima.
- Verificar e analisar a probabilidade de obter amostras com seus estimadores dentro dos intervalos de confiança.
- Verificar e analisar a probabilidade de obter amostras com o erro de amostragem não superior a $\pm 10\%$.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Custo e eficiência no inventário florestal

Segundo Péllico Netto e Brena (1997), o dimensionamento de indústrias, o financiamento de recursos e o planejamento da utilização dos recursos florestais só serão eficientes se forem fundamentados em dados coletados, manipulados e analisados dentro de 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 de uma metodologia eficiente, precisa e que ao mesmo tempo demande menor tempo e recursos, é sinônimo de economia e planejamento seguro para quem detém plantios florestais.

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 um método em relação a outro. A precisão refere-se ao tamanho dos desvios da amostra em relação à média estimada, a qual se obtém por meio 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 (DRUSZCZ et al., 2010).

De acordo com Avery e Burkhart (1983) a melhor estrutura de amostragem de determinado problema de estimativa é aquela que estabelece a precisão desejada pelo menor custo.

2.2 Métodos de amostragem

As informações do estoque de madeira no sentido qualitativo e quantitativo necessárias ao planejamento são obtidas por meio do inventário. Essas informações normalmente referidas ao volume da floresta, ou mesmo para qualquer outra variável dendrométrica, podem ser obtidas por procedimentos de amostragem ou pela enumeração total das árvores.

A amostragem de uma população pode ser realizada segundo vários métodos, os quais devem ser aplicados de acordo com as características da população para obter maior precisão com menor custo, sendo possível, em tese,

aplicar qualquer método de amostragem a uma população florestal na busca das informações que se deseje (HUSCH et al., 2003). Entretanto, a não utilização de um método adequado à característica da população estudada, levará a um grande incremento no custo do inventário (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Os métodos usados para inventariar populações florestais buscam o menor erro para uma mesma quantidade de trabalho, fixada a precisão desejada para as informações a serem levantadas e que, posteriormente, serão usadas no planejamento da floresta. Assim, torna-se importante investigar, para cada tipo florestal específico, os métodos e processos de amostragem que permitam aumentar a precisão das estimativas e reduzir o custo do inventário, o qual é diretamente influenciado pelo tempo de medição, equipe executora e pelo caminhamento entre parcelas (CESARO et al., 1994).

Dentre os processos de amostragem mais utilizados em inventários florestais estão (HUSCH et al., 2003; SANQUETTA et al., 2009; SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2011; PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997):

a) Amostragem casual simples: é o método básico de seleção em que todos os outros processos amostrais são modificações deste. Neste método, todas as possíveis combinações de unidades amostrais possuem a mesma probabilidade de serem sorteadas, ou seja, as unidades amostrais são selecionadas independentemente uma das outras e livres de escolhas deliberadas. A amostragem casual simples em inventários florestais produz estimativas sem tendência, mas apresenta as seguintes desvantagens: a necessidade de planejar um sistema de seleção casual das parcelas; a dificuldade de se localizar no campo, o posicionamento das unidades amostrais dispersas na população; o tempo gasto no deslocamento entre as unidades da amostra; a possibilidade de uma distribuição desuniforme das unidades amostrais, resultando uma amostragem irregular da população.

b) Amostragem casual estratificada: este método de amostragem é aplicado em área não homogênea, onde a população apresenta características de diferentes idades, espécies, espaçamentos, sítios ou outras fontes de variação. Neste processo a população é dividida em subpopulações ou estratos homogêneos e as unidades amostrais são selecionadas aleatoriamente em cada um dos estratos. A amostragem casual estratificada será mais eficiente se a variabilidade dentro dos estratos for menor em relação a variabilidade entre os estratos

c) Amostragem sistemática: enquadra-se em um procedimento de amostragem probabilístico não aleatório, em que o critério de probabilidade se estabelece por meio da aleatorização da primeira unidade amostral, ou seja, a escolha das demais unidades amostrais é um procedimento dependente. Neste método, a seleção das unidades de amostra se dá por meio de um esquema rígido e preestabelecido de sistematização, a fim de cobrir a população em toda sua extensão, e obter um modelo sistemático simples e uniforme. Este modelo de amostragem apresenta as seguintes vantagens: a sistematização proporciona boa estimativa da média e do total devido à distribuição uniforme da amostra em toda população; uma amostra sistemática é, geralmente, executada com maior rapidez e menor custo que uma aleatória; o deslocamento entre as unidades amostrais é mais fácil; em geral, a amostragem sistemática apresenta-se mais precisa que a aleatória simples porque estratifica a população em estratos de unidades

d) Amostragem em múltiplos estágios: este processo de amostragem é obtido por meio de diversas etapas ou estágios na abordagem a população, sendo o mais comum e mais simples a amostragem em dois estágios. A amostragem em múltiplos estágios é um processo de seleção probabilístico com restrição das unidades de amostra, haja vista que o segundo estágio ficará restrito dentro do primeiro, no qual a área é dividida em unidades amostrais primárias as quais são subdivididas em unidades menores ou unidades amostrais secundárias, que formam estágios sucessivos. A principal vantagem desse método é a concentração do trabalho nas unidades primárias selecionadas, que permite a redução de custos, tempo de deslocamento, melhor supervisão e checagem das atividades de campo.

e) Amostragem em múltiplas ocasiões: este método também é conhecido como inventário florestal contínuo. É realizado com o objetivo de analisar mudanças ocorridas na floresta durante certo período de tempo. Dentre os procedimentos de amostragem que podem ser adotados neste método estão: amostragem com repetição total das unidades amostrais - neste procedimento se utilizam parcelas permanentes, as quais são medidas em todas as ocasiões; amostragem sucessiva independente - são utilizadas parcelas temporárias, as quais são medidas uma única vez, sendo utilizada outra estrutura de amostragem na medição seguinte; e a amostragem com repetição parcial das unidades de amostra, em que parte das unidades de amostra medidas na primeira ocasião é remeida em uma segunda e a outra parte se refere a novas unidades amostrais. Este método apresenta como

vantagem estimar quantidades e características da floresta no primeiro inventário, segundo inventário e entre os dois inventários.

2.3 Intensidade de amostragem

A intensidade de amostragem é o primeiro passo para realizar uma amostragem, pois indica a porcentagem de área total da população que será amostrada (HUSCH et al., 2003).

A intensidade de amostragem ou fração de amostragem é a razão entre o número de unidades da amostra e o número total de unidades cabíveis na população (CHACKO, 1965 apud PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). A intensidade de amostragem pode ser obtida por meio de dois procedimentos principais.

O primeiro procedimento é uma função da variabilidade da floresta, do erro de amostragem máximo admitido para as estimativas e da probabilidade de confiança fixada. Este procedimento é indicado e desejado para inventários florestais, mas não leva em consideração que há limitação de tempo ou recursos para a realização do inventário (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). Com isso, é possível alcançar o erro de amostragem requerido, mas possivelmente com um alto custo dependendo das características da floresta.

O segundo procedimento é em função do tempo disponível, ou pelos recursos financeiros, humanos e materiais existentes para a realização do inventário florestal. Nestas condições, a intensidade de amostragem é em decorrência da quantidade de trabalho que pode ser realizado em determinado tempo, ou com os recursos disponíveis. Com isso não é possível alcançar o erro de amostragem desejado, podendo ser maior ou menor, dependendo da uniformidade da floresta (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

De acordo com Soares, Paula Neto e Souza (2011), a precisão da amostragem no inventário florestal está relacionada com a variabilidade da população. Assim, quanto maior a variabilidade da população, maior deverá ser a intensidade amostral e, conseqüentemente, maiores serão os custos. Não existe um tamanho ideal para que a amostra apresente os resultados esperados, pois depende das características da floresta, mas o inventário deve conter o erro admissível e a probabilidade conforme a legislação do local e do tipo de floresta.

O Ibama, por meio da sua Norma Técnica nº 01, de 2007, determina que os inventários florestais para a concessão de florestas públicas deverão apresentar estimativas da média para a abundância, para a área basal e para o volume com erros amostrais não superiores a 10% e com 95% de probabilidade para a população comercial, isto é, considerando as espécies comerciais e o DAP mínimo de 50 cm para as árvores potencialmente exploráveis (BRASIL, 2007).

Outros órgãos ambientais de esfera estadual, como o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) da Bahia, determina que para a realização do Inventário Florestal deve-se considerar: a) um erro máximo de 10% (dez por cento) para uma probabilidade de 95% (noventa e cinco por cento) quando este for realizado em florestas plantadas (nativa ou exótica); b) um erro máximo de 20% (vinte por cento) para uma probabilidade de 90% (noventa por cento) quando o objetivo for a Aprovação do Plano de Manejo Florestal Sustentável; c) um erro máximo admitido de 10% (dez por cento) para uma probabilidade de 90% (noventa por cento) quando o objetivo for a Autorização de Supressão de Vegetação Nativa (BAHIA, 2014).

O Instituto Estadual de Florestas (IEF) de Minas Gerais determina que para a realização do Inventário Florestal deve-se considerar: a) um erro máximo de 10% (dez por cento) para uma probabilidade de 90% (noventa por cento) quando este for realizado em florestas plantadas (nativa ou exótica); b) um erro máximo de 15% (quinze por cento) para uma probabilidade de 90% (noventa por cento) quando o objetivo for a Aprovação do Plano de Manejo Florestal Sustentável; c) um erro máximo admitido de 10% (dez por cento) para uma probabilidade de 90% (noventa por cento) quando o objetivo for a Autorização de Supressão de Vegetação Nativa (MINAS GERAIS, 2013; IEF, 2017).

Já o Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal (IDAF) do Espírito Santo determina que para a realização do Inventário Florestal deve-se considerar: a) um erro máximo admitido de 15% (quinze por cento) para uma probabilidade de 90% (noventa por cento) quando o objetivo for a Autorização de Supressão de Vegetação Nativa; b) não se faz quando o objetivo for a Aprovação do Plano de Manejo Florestal Sustentável; c) também não necessita de inventário florestal caso seja realizado em florestas plantadas (nativa ou exótica) (IDAF, 2017).

Soares e Paula Neto (1997) estudando um povoamento de *Eucalyptus grandis* no município de Viçosa-MG, encontrou intensidade amostral ótima para

estimar biomassa e volume com um erro admissível de 10% a 95% de probabilidade respectivamente, 18% e 17%. Diferentes intensidades amostrais podem gerar resultados favoráveis ou não, mas quanto maior a intensidade amostral menor é o erro de amostragem para uma determinada probabilidade.

2.4 Erro de amostragem

O erro de amostragem é a diferença entre um resultado amostral e o verdadeiro resultado populacional. Tais erros resultam de oscilações amostrais aleatórias decorrentes do processo de amostragens ou erros na medição e/ou registro (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). No inventário florestal, podem ocorrer dois tipos principais de erros: os erros amostrais e os erros não amostrais. Juntos estes erros resultam no erro total da estimativa de uma amostra (HUSCH et al., 2003).

Os erros amostrais ocorrem do processo de amostragem e são devidos a parte da população que não foi amostrada, não considerando os erros não amostrais. A diferença entre a média estimada e a média real da população é estimada pelo erro padrão da média (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). O erro padrão da média expressa o tamanho esperado do erro de amostragem, frequentemente apresentado em porcentagem da média amostral.

No planejamento de um inventário florestal, uma das premissas mais importantes é a precisão desejada para as estimativas. Esta precisão desejada é normalmente expressa pelo erro de amostragem máximo em porcentagem. Com isso, quanto maior o erro padrão da média, menor a precisão (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). O erro de amostragem de um inventário florestal depende do tamanho da amostra, dos recursos disponíveis, do tempo, da variabilidade das unidades amostrais e do método de amostragem (SHIVER; BORDERS, 1996).

Os erros não amostrais não são originados do processo de amostragem e podem ocorrer de inúmeras causas, como: equívocos na marcação de unidades amostrais, nas obtenções dos dados das árvores ou no registro das observações dos dados, empregos de métodos inadequados e erros de processamentos dos dados (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

De acordo com Husch et al. (2003), os erros não amostrais contribuem significativamente com o erro total de um inventário, podendo ser maior que o erro

amostral. Neste contexto, medidas preventivas devem ser aplicadas para minimizar a ocorrência desses tipos de erros, já que estes erros são difíceis de serem detectados, eliminados e também não existe uma forma desses serem calculados. O erro não amostral pode ocorrer em todos os tipos de inventário florestal (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2011). Segundo Péllico Netto e Brena (1997), a única maneira de controlar e analisar a influência dos erros não amostrais é estabelecer uma supervisão e revisão dos dados em todas as fases do inventário.

Como citado anteriormente nos exemplos da menção sobre o erro de amostragem na legislação de alguns estados brasileiros, o erro amostral percentual é de extrema importância para obter aprovação dos inventários florestais, sendo o planejamento desta atividade crucial no seu sucesso. Um menor erro amostral obtido por meio de uma amostra pode ser alcançado com o aumento da intensidade amostral, utilização dos métodos de amostragem adequados, emprego de instrumentos de medição precisos com pessoal treinado e com esquemas de supervisão e controle em todas as fases da execução do trabalho (COCHRAN, 1953 apud IGNÁCIO, 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Fonte dos dados

Para a realização das análises propostas neste estudo, utilizou-se dados provenientes de 450 unidades amostrais de 0,1 hectares, com 45 ha de área total (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1993). Neste inventário, encontram-se os dados de volume por parcela de *Pinus* sp. Os referidos autores realizaram um censo da população, alvo do estudo, o que permitiu calcular os parâmetros os quais foram utilizados como referência para o cálculo do verdadeiro erro.

3.2 Caracterização dos dados

Os dados referentes ao estudo apresentam estratos bem definidos. A população de 45 ha é composta por três idades diferentes; doze, nove e seis anos, com área de 14,2, 16,4 e 14,4 ha, respectivamente.

Para o estudo, foi realizada uma divisão dessa população, baseada no coeficiente de variação (quanto maior, mais heterogêneo), a fim de obter uma população heterogênea com idades de 12, 9 e 6 anos, e 450 unidades amostrais, que é a população 1, e outra população homogênea com idade de 12 anos e 142 unidades amostrais, que é a população 2.

Essa divisão foi proposta a fim de analisar a influência do tamanho e da composição das amostras de inventários florestais em duas populações com características distintas. As características das populações são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características das populações em estudo.

Variáveis	Pop.1	Pop.2
Área Total (ha)	45,0	14,2
N (u.a.)*	450	142
μ (m ³ ha ⁻¹)**	225,5	289,9
σ (m ³ ha ⁻¹)***	80,92	48,48
CV (%)****	35,89	16,72
Limite Superior (m ³ ha ⁻¹)	415	415
Limite Inferior (m ³ ha ⁻¹)	63	205
Idades (anos)	12, 9 e 6	12

*Número total de unidades amostrais; **Média populacional; ***Desvio padrão populacional; ****Coeficiente de variação.

Fonte: Péllico Netto e Brena (1993).

3.3 Simulação de amostras do inventário florestal

Inicialmente, foram sorteadas 100 amostras piloto, afim de simular uma amostragem casual simples em ambas populações, compostas cada uma por dez unidades de amostra (u.a.) que contém volume de madeira em m³ 0,1ha⁻¹, empregando-se o programa R (R Core Team, 2014). Posteriormente, foi calculada a variância dos inventários pilotos. Após isso, foi calculado o tamanho da amostra ideal para obter um erro máximo admissível de 10%, a 5% de significância (95% de confiança), para todas as amostras cujo o erro de amostragem relativo foi superior a ±10%, empregando-se para isso a expressão proposta por Cochran (1977) para populações finitas (EQUAÇÃO 1).

$$n = \frac{t^2 \cdot S^2}{E^2 + \frac{t^2 \cdot S^2}{N}} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

n = tamanho da amostra;

t = valor tabelado da estatística “t” de *Student*, neste estudo a 95% de significância e n-1 graus de liberdade;

S² = variância da característica analisada entre as unidades de amostra, neste caso foi o volume;

E = erro admissível em torno da média, em termos absolutos, neste trabalho foi ±10% da média; e

N = número total de unidades de amostra na população.

Após a obtenção das estimativas das intensidades amostrais ótimas, foram sorteadas novas unidades amostrais até se alcançar o número ótimo definido pela intensidade amostral (Equação 1), que é a diferença entre o tamanho ótimo amostral e as dez u.a. iniciais. Para este estudo, foram sorteadas dez mil novas combinações de amostras, mantendo as dez parcelas iniciais do inventário piloto e foi acrescentado as novas parcelas sorteadas de forma aleatória.

Posteriormente, foram calculadas para as novas amostras as estatísticas: média, variância, erro padrão da média, erro de amostragem absoluto e relativo, e intervalo de confiança para a média. Os resultados foram comparados com os

parâmetros da população afim de encontrar a probabilidade de obter o erro admissível e o erro de estimação dentro dos intervalos de confiança, para cada amostra inicialmente sorteada em ambas populações, simuladas dez mil vezes, admitindo-se um erro máximo de $\pm 10\%$ da média, com 95% de probabilidade de confiança pela estatística “*t*” de *Student*. Também foi obtido a exatidão do inventário pela diferença entre o média populacional e o valor estimado da média amostral das simulações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Intervalo de confiança

Observa-se na Figura 1A, os intervalos de confiança nas amostras da Pop.1, que é a população com características mais heterogêneas, apenas 53% das 100 amostras apresentaram os valores dos intervalos de confiança dentro dos requisitos propostos, ou seja, 47% das amostras apresentaram o erro de exatidão quanto a média da população fora dos intervalos de confiança ao nível de probabilidade de 95%, muito além dos 5% aceitáveis.

Nota-se também que os intervalos de confiança entre as amostras atingiram uma amplitude de aproximadamente 65%, variando de aproximadamente 35 a 100% e em relação às intensidades amostrais variam de aproximadamente 2,3 a 22,44%, não correspondendo necessariamente as mesmas amostras. Neste caso a precisão e a exatidão foram baixas, pois houve uma grande dispersão dos dados, mesmo assim foi possível verificar que a grande maioria dos dados exatos, encontraram-se entre 6,9 a 15,5% da intensidade amostral.

O que se refere aos intervalos de confiança nas amostras da Pop.2, que é a população com caracteres mais homogêneos, 85% das 100 amostras, apresentaram os intervalos de confiança dentro dos limites propostos, isto é, 15% das amostras apresentaram o erro de estimação (exatidão) em relação à média populacional fora dos intervalos de confiança ao nível de significância de 95%, 10% a mais aos 5% aceitáveis (Figura 1B).

Verifica-se também na Figura 1B, que os intervalos de confiança entre amostras variaram de 0 (zero) a 100% e em relação às intensidades amostrais variam de 7,04 a 14,79%, não correspondendo necessariamente as mesmas amostras. Nesta amostra é possível notar uma maior precisão e exatidão em relação às amostras da Pop.1, pois houve uma menor dispersão dos dados, verificando que a grande maioria dos resultados exatos, concentram-se entre toda a abrangência da intensidade amostral.

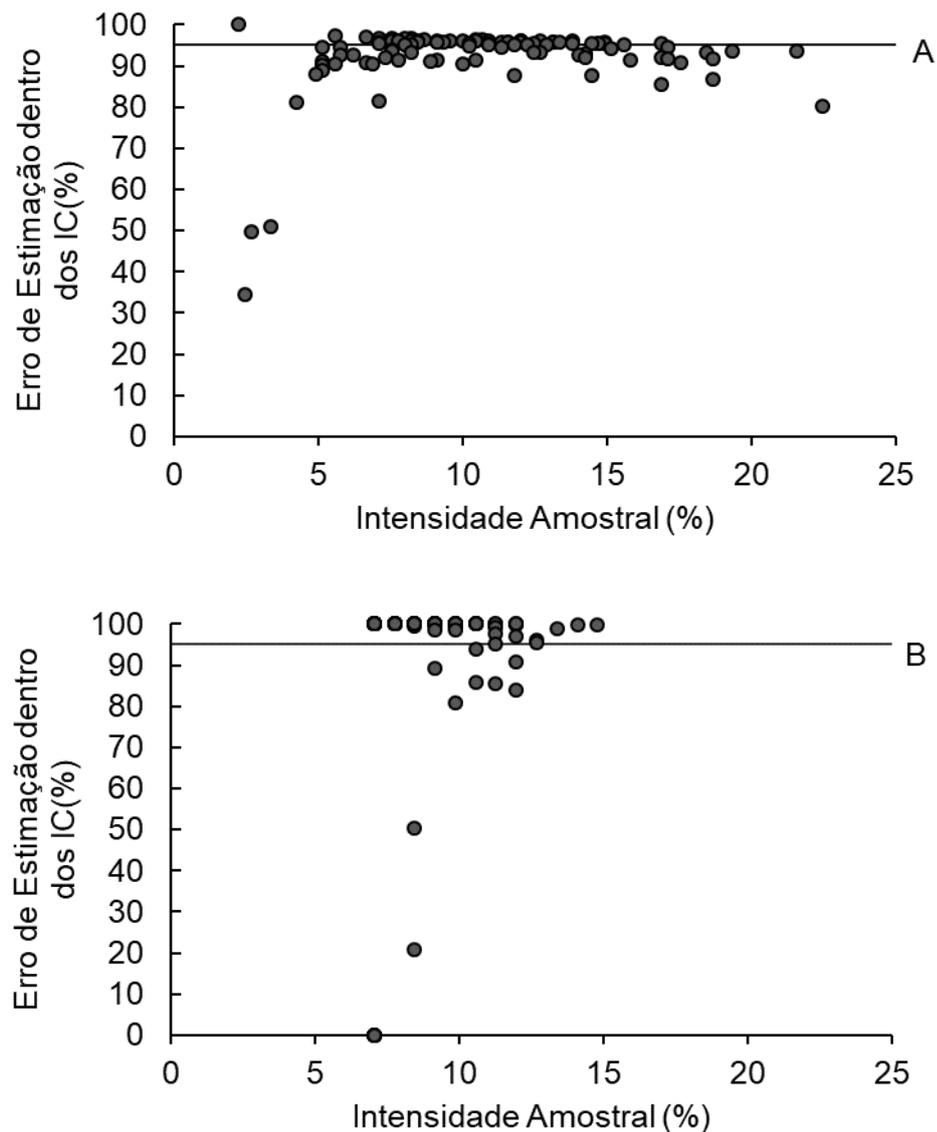


Figura 1. Dispersão das probabilidades amostrais com o erro de estimação dentro dos intervalos de confiança (IC) em relação à intensidade amostral na Pop.1 (A) e Pop.2 (B), admitindo um erro de $\pm 10\%$ a 95% de probabilidade pela estatística “*t*” de Student.

Fonte: Dados da pesquisa.

A título de exemplo sobre a dispersão das probabilidades dos intervalos de confiança apresentados no Figura 1A, no que refere a amostra com maior intensidade amostral, 22,44%, apresentou 80,16% de probabilidade em dez mil tentativas de os parâmetros populacionais encontrarem-se entre os limites superior e inferior dos intervalos de confiança. O mesmo se aplica a Figura 1B, pegue-se como exemplo novamente a amostra com maior intensidade amostral, 14,79%, apresentou 99,86% de probabilidade em dez mil simulações de os parâmetros populacionais encontrarem-se entre os limites superior e inferior dos intervalos de confiança.

Estes resultados não corroboram com o proposto pela estatística “*t*” de *Student* e nem com o estudo realizado por Soares, Paula Neto e Souza (2011), onde realizando vinte inventários em um tamanho ótimo previamente encontrado de 25 unidades de amostra de 0,3 ha, de forma inteiramente casual, com precisão requerida de $\pm 20\%$ a 95% de probabilidade, estes autores encontraram apenas um inventário dos vinte realizados, com o erro de estimação da média da população fora dos intervalos de confiança, ou seja, corroborando com os 5% aceitos pela estatística “*t*”.

É possível encontrar diferenças nítidas nas amostragens das populações Pop.1 e Pop.2, a Pop.1 não apresentou uma tendência de dispersão dos dados como foi o caso da Pop.2, como pode ser observado na Figura 1B, a partir de 12% de intensidade amostral a uma tendência de o erro de estimação da média da população ficar dentro dos intervalos de confiança, esta tendência não é observada nas amostras da Pop.1. Possivelmente isso ocorreu pela subestimação e/ou superestimação do tamanho ótimo de amostragem, pois se trata de uma população com características mais heterogêneas.

Tendo em vista evitar que a média da população fique fora dos intervalos de confiança na precisão estabelecida, é recomendado por Péllico Netto e Brena (1997) e Soares, Paula Neto e Souza (2011) que o planejamento do inventário seja criterioso e, se for possível, embasado em outros estudos na área, talvez sendo necessária uma maior intensidade amostral a fim de se obter a precisão adequada.

O fato da estatística “*t*” de *Student* não ter dado o real tamanho ótimo de amostragem em grande parte das amostras na Pop.1 e Pop.2 era possível de ocorrer (GOODMAN, 1999). Estudos recentes publicados abordam esse tema e põe em cheque o seu uso (NUZZO, 2014; SIMONSOHN; NELSON; SIMMONS, 2014), acreditando-se que mesmo com nove décadas de uso, a probabilidade “*t*” (0,05 neste estudo) não pode ser usada para justificar resultados, alegando-se que sua criação tinha o propósito que não fosse um teste definitivo, mas simplesmente como uma maneira informal de julgar se a evidência era significativa, mas com necessidade de um segundo teste, ou seja, calcular a probabilidade de obter resultados pelo menos tão extremos quanto o que realmente foi observado.

Segundo Wasserstein e Lazar (2016) o uso do “*t*” tabelado deve ser usado com ressalvas, ele não pode explicar os resultados, com isso estes autores recomendam complementar ou até mesmo substituir valores de P com outras

abordagens. Estes incluem métodos que enfatizam a estimativa sobre o teste, como confiança, credibilidade ou intervalos de previsão; métodos bayesianos; medidas alternativas de evidência, tais como razões de verossimilhança ou fatores de Bayes; e outras abordagens. Todas essas medidas e abordagens dependem de outros pressupostos, mas podem abordar diretamente o tamanho de um efeito (e sua incerteza associada) ou se a hipótese é correta.

4.2 Erro admissível

Como observa-se na Figura 2A, os erros amostrais nas amostras da Pop.1, apresentaram apenas 27% das 100 amostras com erro de amostragem menor que os $\pm 10\%$ em relação à média previamente estabelecido nos requisitos propostos, ou seja, 73% das amostras apresentaram o erro de amostragem quanto a média do inventário acima dos $\pm 10\%$ ao nível de probabilidade de 95%.

É verificado que os erros admissíveis entre as amostras atingiram uma amplitude de aproximadamente 95%, variando de aproximadamente 5,1 a 100% e em relação as intensidades amostrais variam de aproximadamente 2,3 a 22,44%, não correspondendo necessariamente as mesmas amostras, mas apresentando essa tendência de quando maior a intensidade amostral, menor é o erro de amostragem. Neste caso a precisão e a exatidão foram baixas, pois houve uma grande dispersão dos dados, mesmo assim é possível verificar que a grande maioria dos dados exatos, encontraram entre a partir de 13,5% da intensidade amostral.

Nota-se que os erros de amostragem nas amostras da Pop.2, que 33% das 100 amostras, apresentaram os erros amostrais no limite de admissibilidade dentro dos limites propostos, isto é, 67% das amostras apresentaram o erro de amostragem em relação à média do inventário acima de $\pm 10\%$ ao nível de significância de 95%, muito além dos 5% aceitáveis (Figura 2B).

É marcante na Figura 2B que os erros admissíveis entre amostras variaram de aproximadamente 51 a 100% e em relação às intensidades amostrais variam de 7,04 a 14,79%, não correspondendo necessariamente as mesmas amostras, mas como ocorreu nas amostras da Pop.1, também apresentou tendência de quando maior a intensidade amostral, menor é o erro de amostragem. Nesta amostra é possível notar uma maior precisão e exatidão em relação às amostras da Pop.1, pois houve uma menor dispersão dos dados, verifica-se que a grande maioria dos resultados exatos, concentram-se a partir de 12,6% da intensidade amostral.

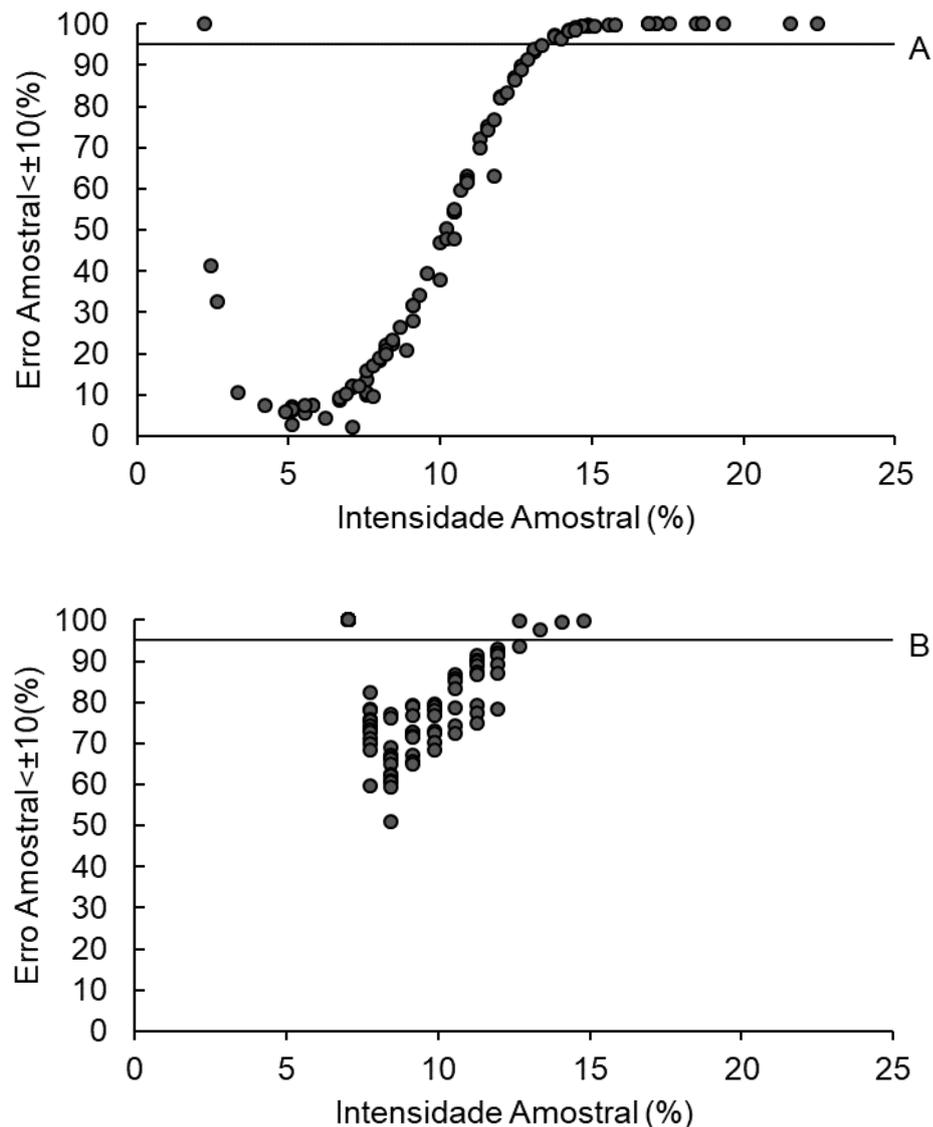


Figura 2. Dispersão das probabilidades amostrais com erro amostral não superior ao estabelecido em relação à intensidade amostral na Pop.1 (A) e na Pop.2 (B), admitindo um erro de até $\pm 10\%$ a 95% de probabilidade pela estatística “t” de Student.

Fonte: Dados da pesquisa.

A título de exemplo sobre a dispersão das probabilidades dos erros admissíveis, ou seja, erros menores que 10%, apresentados no Figura 2A, pegando-se de exemplo a amostra com maior intensidade amostral, 22,44%, apresentou 100% de probabilidade em dez mil tentativas de os erros de amostragem apresentarem valores menores do que 10%. O mesmo se aplica a Figura 2B, como exemplo novamente a amostra com maior intensidade amostral, 14,79%, apresentou 99,80% de probabilidade em dez mil simulações de os erros de amostragem apresentarem valores menores do que 10%.

Segundo Péllico Netto e Brena (1997), o máximo de erro aceitável no inventário florestal é de $\pm 10\%$, conseqüentemente o custo e os outros recursos aumentam, pois demandará uma maior área de amostragem como verificado neste estudo. Em estudo realizado por Soares e Paula Neto (1997) em um povoamento de *Eucalyptus grandis* no município de Viçosa-MG, a intensidade amostral ótima para estimar biomassa e volume com um erro admissível de $\pm 10\%$ a 95% de probabilidade foi respectivamente, 18% e 17% de área amostrada, mas estes autores não realizaram esta amostragem a fim de verificar estas estimações.

Estes resultados não corroboram com o proposto pela estatística “t” de *Student*, também verificado por Soares, Paula Neto e Souza (2011), onde realizando vinte inventários em um tamanho ótimo previamente encontrado de 25 unidades de amostra de 0,3 ha, de forma inteiramente casual, com precisão requerida de $\pm 20\%$ a 95% de probabilidade, estes autores encontraram seis inventários dos vinte realizados, com o erro amostral em relação à média acima do limite proposto, ou seja, 30% dos inventários não estavam admissíveis de acordo com a estatística “t”.

É nitidamente perceptível uma tendência no comportamento das amostras nas populações Pop.1 e Pop.2. A Pop.1 apresentou uma marcante tendência de os erros amostrais diminuírem com o aumento das intensidades amostrais (Figura 2A), caso semelhante da Pop.2, como pode ser observado na Figura 2B. Mesmo assim, houve diferentes amostras com intensidades amostrais muito próximas e/ou iguais, mas não apresentando necessariamente os mesmos valores de erros de amostragem, isso ocorreu devido a variabilidade das parcelas sorteadas na amostragem casual simples. Essa tendência também foi verificada por Sé et al. (2013) e Mello et al. (2015), em que ao analisar a precisão de inventários florestais, verificaram que as intensidades amostrais superiores a 10% da área inventariada apresentaram os estimadores mais adequados e exatos.

De acordo com os autores supracitados e dos dados deste estudo, para que o erro amostral fique dentro do limite de precisão estabelecido, é recomendado que a intensidade amostral seja no mínimo superior a 10% da área a ser amostrada e que a forma de calcular a intensidade ótima seja realizada sem tendências.

A problemática do uso do “t” tabelado também fez efeito no erro admissível, pois a estatística “t” de *Student* não funcionou na Pop.1 e Pop.2, o nível de 5% de probabilidade não foi atingido em grande parte das amostras, pressupõe mais uma

vez que esse teste não é adequado para este caso (WASSERSTEIN; LAZAR, 2016) ou ele realmente não funciona (NUZZO, 2014).

5 CONCLUSÕES

Ao analisar e simular diferentes tamanhos e composições de amostras em inventários florestais, chegou-se às seguintes conclusões:

A estatística “*t*” de *Student* não funcionou para as populações em estudo, com características heterogêneas (Pop.1) e homogêneas (Pop.2), não estimando com precisão o real tamanho ótimo.

Para as amostras que apresentaram seus estimadores dentro dos intervalos de confiança, com probabilidade igual ou maior a 95%, na Pop.1 não houve tendência quanto a ocorrência de amostras com seus estimadores dentro dos intervalos de confiança, mas para a Pop.2 foi verificado que nas intensidades amostrais acima de 12,6% todas as amostras apresentaram seus estimadores dentro dos intervalos de confiança.

Para as amostras com erro de amostragem menor que $\pm 10\%$, com probabilidade igual ou maior a 95%, tanto para a Pop.1 quanto para a Pop.2, foi verificado tendências quanto a ocorrências de amostras com erro admissível, respectivamente, a partir de 13,5 e 12,7% de intensidade amostral.

6 REFERÊNCIAS

AVERY, T.E.; BURKHART, H. **Forest measurements**. New York: McGraw-Hill Book Company, 33p. 1983.

BAHIA. **Portaria INEMA nº 8578, de 09 de outubro de 2014**. Define os documentos e estudos necessários para requerimento junto ao INEMA dos atos administrativos para regularidade ambiental de empreendimentos e atividades no Estado da Bahia, revoga a Portaria INEMA nº 13.278/2010, a Instrução Normativa INGA nº 01/1997 e a Portaria INEMA nº 3.837/2012 e dá outras providências. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/Inventario_florestal_atualizado_22022016.pdf> Acesso em: 11 de abr. 2017.

BRASIL. **Norma de execução nº 1, de 24 abril de 2007**. Institui, no âmbito desta Autarquia, as Diretrizes Técnicas para Elaboração dos Planos de Manejo Florestal Sustentável - PMFS de que trata o art. 19 da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.lex.com.br/doc_1123291_NORMA_DE_EXECUCAO%20_N_1_DE_24_DE_ABRIL_DE_2007> Acesso em: 11 de abr. 2017.

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, v.4, n. 1, p. 97-108, 1994.

COCHRAN, W. G. **Sampling Techniques**, 3.ed. New York: John Wiley and Sons, Inc., 428 p. 1977.

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, 2010.

DRUSZCZ, J.P.; NAKAJIMA, N.Y.; PÉLLICO NETTO, S.; MACHADO, S.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.

GOODMAN, S.N. Toward Evidence-Based Medical Statistics. 1: The *P* Value Fallacy. **Annals of Internal Medicine**, Philadelphia, v.130, n. 12, p. 995-1004, 1999.

GUEDES, I. C. L; MELLO, J. M.; MELLO, C. R.; OLIVEIRA, A. D.; SILVA, S.T.; SCOLFORO, J. R. S. Técnicas Geoestatísticas e Interpoladores espaciais na Estratificação de povoamento de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 541-550, 2012.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3.ed. Malabar: Krieger Publishing Company, 402 p. 1993.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; KERSHAW, J. **Forest mensuration**. 4.ed. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 443 p. 2003.

IGNÁCIO, S. A. **Precisão e eficiência de processos de subamostragem com unidades primárias de tamanhos desiguais em inventários de plantações de *Eucalyptus spp.*** Curitiba, 218 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, 2001.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf> Acesso em: 09 de abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=5930&z=p&o=29>> Acesso em: 10 de abr. 2017.

INSTITUTO DE DEFESA AGROPECUÁRIA E FLORESTAL DO ESPÍRITO SANTO – IDAF. Disponível em: <<https://idaf.es.gov.br/supressao-de-vegetacao>> Acesso em: 11 de abr. 2017.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/florestas/Colheita_Comercializacao/anexo%20i.pdf> Acesso em: 11 de abr. 2017.

MELLO, J. M.; SCOLFORO, H. F.; RAIMUNDO, M. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; FERRAZ FILHO, A. C. Estimating precision of systematic sampling in forest inventories. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n.1, p. 15-22, 2015.

MINAS GERAIS. **Resolução conjunta SEMAD/IEF nº 1804, de 11 de janeiro de 2013**. Dispõe sobre os procedimentos para autorização da intervenção ambiental no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/18309572-Resolucao-conjunta-semad-ief-no-1804-de-11-de-janeiro-de-2013.html>> Acesso em: 11 de abr. 2017.

NUZZO, R. Scientific method: Statistical errors. **Nature**, Londres, v. 506, n. 7487, p.150-152, 2014.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. v.1, Curitiba, PR. 316 p. 1997.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. **Inventário Florestal**. Curitiba: Ed. UFPR; Santa Maria: UFSM, 1993.

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; 316 p. 2009.

SÉ, D. C.; MELLO, J. M.; SCALON, J. D.; MUNIZ, J. A.; OLIVEIRA, M. S.; SCOLFORO, J. R. S. Use of the correlation coefficient between plots in order to improve the accuracy of forest inventories. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 575-580, 2013.

SHIVER, B. D.; BORDERS, B. E. **Sampling techniques for forest resource inventory**. New York: John Wiley & Sons, 356 p. 1996.

SIMONSOHN, U.; NELSON, L. D.; SIMMONS, J. P. P-curve: A key to the file drawer. **Journal of Experimental Psychology: General**, Washington, v. 143, n. 2, p.534-547, 2014.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e inventário florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2011.

SOARES, C.P.B.; PAULA NETO, F. Determinação do tamanho da amostra em um inventário volumétrico e de biomassa de troncos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 44, n. 252, p. 142-151, 1997.

VIBRANS, A. C.; SEVGENANI, L.; LINGNER, D. V.; GASPER, A. L.; SABBAGH, S. Inventário florístico florestal de Santa Catarina (IFFSC): aspectos metodológicos e operacionais. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 30, n. 64, p. 291-302, 2010.

WASSERSTEIN, R. L.; LAZAR, N. A. The ASA's Statement on p-Values: Context, Process, and Purpose. **The American Statistician**, Alexandria, v. 70, n. 2, p.129-133, 2016.