



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**INTENSIDADE AMOSTRAL ÓTIMA PARA A CUBAGEM RIGOROSA DE
ÁRVORES DE EUCALIPTO**

JÉSSICA CHAVES CARDOSO

Prof. Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO
Orientador

SEROPÉDICA-RJ
Nobembro-2016



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**INTENSIDADE AMOSTRAL ÓTIMA PARA A CUBAGEM RIGOROSA DE
ÁRVORES DE EUCALIPTO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

JÉSSICA CHAVES CARDOSO

Prof. Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO
Orientador

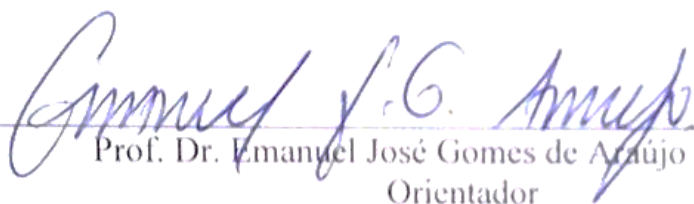
SEROPÉDICA-RJ
Novembro-2016

**INTENSIDADE AMOSTRAL ÓTIMA PARA A CUBAGEM RIGOROSA DE
ÁRVORES DE EUCALIPTO**

JÉSSICA CHAVES CARDOSO

Monografia aprovada em 29 de novembro de 2016.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Emanuel José Gomes de Araújo – UFRRJ
Orientador



Prof. Dr. Marco Antonio Monte – UFRRJ
Membro



Prof. Dr. Francisco José de Barros Cavalcanti – UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais João e Rosa, as minhas irmãs Fernanda e Rafaela, ao meu namorado Maurício.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por todas bênçãos derramadas sobre esta minha jornada na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e por estar ao meu lado em todos os momentos, me dando força em momentos de fraqueza.

À toda minha família, em especial minha mãe Rosa Maria Chaves Cardoso, mãe amorosa, que com sua força, paciência e dedicação, soube me apoiar e sempre me orientar em cada decisão da minha vida. Também ao meu pai João Carlos Cardoso: o pai guerreiro, amoroso e, sem dúvida, o meu herói. Às minhas irmãs Fernanda e Rafaela, por toda a amizade e apoio.

Aos professores da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por contribuírem não só com a minha formação acadêmica, mas também humana, em especial ao meu orientador Emanuel Araújo, pela oportunidade de realizar minha monografia, bem como outros trabalhos sob sua orientação. Agradeço pelos ensinamentos, disponibilidade e motivação.

À todos os membros do Laboratório de Manejo de Mensuração Florestal (LAMFLOR), obrigado pelos conhecimentos compartilhados.

Obrigada à Banca examinadora por me proporcionar o privilégio de suas críticas e orientações que enriqueceram este trabalho.

Às moradoras do F1-27, pelos momentos de alegrias compartilhados, incentivo aos estudos e por aturarem minhas reclamações diárias.

À todos os meus colegas e amigos “ruralinos”, obrigada pela amizade e por fazerem minha jornada dentro da Universidade muito mais feliz. Deixo um agradecimento especial ao Mateus dos Reis, grande amigo, obrigada por toda ajuda e incentivo neste trabalho e em tantos outros.

Ao meu namorado Maurício, por sempre estar ao meu lado, me apoiando em todos os meus sonhos.

À empresa pelos dados fornecidos para que a realização desse trabalho fosse possível.

E, finalmente, à todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação pessoal e profissional, durante a minha jornada acadêmica.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar a intensidade amostral ótima de árvores a serem cubadas por classe de diâmetro rigorosamente em plantios de Eucalipto. Foram utilizados dados da cubagem de 4.414 árvores cedidos por uma empresa, que atua no setor florestal localizada em Minas Gerais. As árvores foram distribuídas em 25 estratos formados com base na região, fazenda e clone. Em cada estrato, foi realizada intensidade amostral de 1 a 10 árvores por classe de diâmetro a 1,30 m (*dap*) com amplitude de 2,5 cm. A amostragem das árvores foi realizada por meio de sorteio sem reposição. Para os volumes de cada amostra gerada por estrato, aplicou-se uma análise descritiva. O sorteio das árvores foi realizado por meio da amostragem sem reposição. Para os volumes de cada amostra gerada por estrato, aplicou-se uma análise descritiva. A determinação do número ótimo de árvores cubadas, por classe de diâmetro, foi realizada com base no Método da Máxima Curvatura Modificado, no qual foi utilizado o modelo definido por Lessman e Atkins (1963). Os pontos de máxima curvatura correspondentes as intensidades amostrais das árvores foram determinadas, utilizando os modelos definidos por Méier e Lessman (1971) e por Chaves (1985). Os valores de CV% obtidos variou de 80 a 128%. As intensidades amostrais obtidas pelos dois modelos, estiveram no intervalo de 3 a 6 árvores por estrato. A intensidade amostral ótima de árvores a serem cubadas rigorosamente em plantios de Eucalipto, é de três a seis árvores por classe de diâmetro com amplitude de 2,5 cm, considerando as condições deste estudo.

Palavras chaves: Cubagem rigorosa; Estratificação; Método da máxima curvatura modificado; Número ótimo de árvores.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the optimum sampling intensity of trees to be cubed in Eucalipto plantations. Data for the volume calculation of 4,414 *Eucalyptus* trees was provided by a company from Minas Gerais. The trees were distributed in 25 strata formed based on their region, farm and clone. In each stratum, sampling intensity of 1 to 10 trees per diameter class at 1,30 m (dap) with amplitude of 2,5 cm was performed. The sampling of the trees was carried out by lot without replacement. For the volumes of each sample generated by stratum, a descriptive analysis was applied. The determination of the optimal number of cubed trees per diameter class was performed based on the Modified Maximum Curvature Method, in which the model defined by Lessman and Atkins (1963) was used. The maximum curvature points corresponding to the sample intensities of the trees were determined using the models defined by Méier e Lessman (1971) and Chaves (1985). The CV% values obtained ranged from 80 to 128%. The sample intensities obtained by the two models ranged from 3 to 6 trees per stratum. The optimum sampling intensity of trees to be accurately covered in Eucalipto plantations is 3 to 6 trees per diameter class with an amplitude of 2.5 cm, considering the conditions of this study.

Key-words: Measurement of tree volume; Stratification; Modified Maximum Curvature Method; Optimal number of trees.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Volumetria.....	2
2.2 Métodos Absolutos de Cubagem Rigorosa	3
2.3 Métodos de Cubagem Rigorosa com Alturas Relativas	4
2.4 Amostragem na Cubagem Rigorosa.....	5
2.4.1 Fatores que Influenciam na Variabilidade da Floresta.....	5
2.4.2 Estratificação da Floresta	6
2.5 Número de Árvores a Serem Cubadas	7
2.6 Método da Máxima Curvatura Modificado	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS	9
3.1 Caracterização dos Dados	9
3.2 Cubagem Rigorosa	9
3.3 Estratificação e Amostras	10
3.4 Número Ótimo de Árvores Cubadas	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5. CONCLUSÃO	23
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
7. APÊNDICE	27
APÊNDICE A: Frequência de número de árvore por classe diamétrica em cada estrato.	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fórmulas utilizadas no cálculo do volume de seções por métodos absolutos.....	4
Tabela 2: Fórmulas para o cálculo do volume do fuste pelos métodos relativos.	5
Tabela 3: Sugestão de árvores a serem cubadas por classe diamétrica/idade para floresta equiânea. Fonte: Scolforo e Thiersch (2004).	7
Tabela 4: Sugestão de árvores a serem cubadas por classe diamétrica para floresta inequiânea. Fonte: Scolforo e Thiersch (2004).	7
Tabela 5: Número de árvores observadas em cada estrato por classe diamétrica.	11
Tabela 6: Valores das estatísticas descritivas calculadas para cada amostra dentro de cada estrato.	15
Tabela 7: Parâmetros estimados do modelo de Lessman e Atkins (1963) para cada estrato, o erro padrão da estimativa e intensidade amostral de árvores obtidos pelo modelo de Méier e Lessman (1971) e o modelo definido por Chaves (1985) para cada estrato.	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Locais de medição de diâmetro ou circunferência das seções para os diferentes métodos de cubagem absoluta	3
Figura 2: Posições de medições dos diâmetros das seções tomados em porcentagens relativas à altura total da árvore.....	10
Figura 3: Número total de árvores observadas nos 25 estratos por classe diamétrica.	12
Figura 4: Diagrama representando a amostragem dos estratos e as análises descritivas de cada amostra por estrato. n= Intensidade Amostral.	13
Figura 5: Valores observados, estimados e ponto de máxima curvatura do coeficiente de variação da variável volume.	19
Figura 6: Valores observados, estimados e ponto de máxima curvatura do coeficiente de variação da variável volume.	20
Figura 7: Valores observados, estimados e ponto de máxima curvatura do coeficiente de variação da variável volume.	21
Figura 8: Valores observados, estimados e ponto de máxima curvatura do coeficiente de variação da variável volume.	22

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Leal *et al.* (2015), a estimativa do volume das árvores é essencial para o planejamento e monitoramento dos plantios comerciais de eucalipto, principalmente em estudos de crescimento e produtividade, bem como para quantificação de multiprodutos. A estimativa do volume das árvores é considerada a principal finalidade dos levantamentos florestais, principalmente quando se trata de povoamentos destinados para fins comerciais (MACHADO e FIGUEREDO FILHO, 2009).

Dentre os métodos de cálculo do volume real de árvores, a cubagem rigorosa é o método mais utilizado no setor florestal. É a partir do volume obtido na cubagem rigorosa que são geradas equações de volume e fatores de forma. Sendo assim, é necessária a realização da cubagem para determinar o volume das árvores, no qual os métodos absolutos com a árvore abatida são os mais utilizados. Porém, não há conformidade entre o número ideal de árvores a serem amostradas na cubagem rigorosa e quanto à sua representatividade em diferentes classes de diâmetro (CABACINHA, 2003). Scolforo e Thiersch (2004) indicam um número mínimo de árvores a serem cubadas, de acordo com a amplitude das classes diamétrica; são recomendadas de 4 a 5 árvores, caso seja utilizada amplitude de classe de 2,0 cm, 5 a 7 árvore, se amplitude for de 3,0 cm e 8 a 10 árvores por classe de diâmetro, se a amplitude for 5,0 cm. Porém, Scolforo e Thiersch (2004) não apontam estudos da obtenção destes valores. Número elevado de árvores torna o procedimento inviável operacionalmente e financeiramente, por outro lado, poucas árvores amostradas resultam em equações pouco precisas na estimativa (GUIMARÃES e LEITE, 1996).

Uma maneira de reduzir o número de árvores na cubagem, sem comprometer a precisão dos modelos volumétricos, seria por meio da estratificação das florestas. O objetivo da estratificação é reduzir a variabilidade dentro de subpopulações e, assim, aumentar a precisão dos estimadores (PÉLLICO NETTO e SANQUETTA, 1994). Porém, pouco se tem de informações na literatura sobre como deve ser realizada a estratificação de uma floresta visando a cubagem rigorosa. Reis (2015) ao avaliar critérios de estratificação da floresta visando determinar a melhor forma de estratificação na cubagem rigorosa, verificou que o método que obteve a menor intensidade amostral, sem que as equações fossem comprometidas, foi o que considera região, fazenda, espécie e classe diamétrica.

O Método da Máxima Curvatura Modificado proposto por Lessman e Atkins (1963) é utilizado por diversos autores para determinar principalmente tamanho de parcelas. Oliveira *et al.* (2011) aplicou esse método para obter o tamanho ótimo da parcela para avaliação das principais características dendrométricas em plantios experimentais de candeia. Viena *et al.* (2003) também utilizou esse método para estimar o tamanho da parcela em experimentos com mandioca. Entretanto, esse método é interessante para obtenção da intensidade amostral de árvores na cubagem rigorosa pois permite que o ponto que corresponde a intensidade amostral ótima de árvores seja determinado algebricamente, dando maior precisão aos resultados obtidos.

Em todo processo de amostragem a precisão e o custo são duas variáveis que apresentam uma relação estreita, onde a alteração em uma resulta automaticamente em uma resposta da outra (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Sendo assim, é imprescindível determinar a intensidade amostral de árvores a serem cubadas em diferentes formas de estratificação da floresta, mantendo a precisão das equações de volume com o menor custo.

Deste modo, as hipóteses a serem avaliadas foram:

H₀₁: A estratificação afeta a intensidade amostral da cubagem rigorosa.

H₀₂: O método da máxima curvatura modificado pode ser utilizado para determinar a intensidade amostral ótima na cubagem rigorosa.

O objetivo deste estudo foi determinar o número ótimo de árvores a serem cubadas rigorosamente em plantios de Eucalipto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Volumetria

O volume de madeira é, sem dúvida, o objetivo da maioria dos inventários florestais, principalmente quando se trata de povoamentos para fins comerciais. Quase sempre o volume das árvores em uma unidade de amostra é estimado indiretamente por meio de fator de forma, equações de volume ou funções de afilamento. Em todos estes métodos, exige-se que algumas árvores sejam amostradas com o intuito de obter seus volumes reais, para viabilizar a aplicação de qualquer uma dessas técnicas (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Conforme descrito pelos autores supracitados, o volume real das árvores pode ser obtido pelos seguintes métodos:

a) Cubagem rigorosa: Consiste na divisão do fuste em seções (toras) menores, onde são medidos os diâmetros ao longo do fuste e o volume é calculado por meio de fórmulas matemáticas previamente estabelecidas. A definição do comprimento das seções pode ser de forma absoluta ou relativa à altura total da árvore, ou ainda com uma combinação das duas.

b) Método gráfico (curva de afilamento): É plotado em papel milimetrado um gráfico da área seccional sobre as respectivas alturas onde se encontram. A área sob a curva é então convertida em volume por meio de expressão matemática, correspondendo ao volume da árvore.

c) Deslocamento de água: Coloca-se a tora em um recipiente com água (Xilômetro) e observa-se o deslocamento da coluna d'água, que corresponde ao volume da água mais o da tora, como o volume de água inicial é conhecido, a diferença resulta no volume da tora. O valor resultante da aplicação deste método é considerado paramétrico ou verdadeiro da tora, usado para a calibragem dos demais.

d) Obtenção do volume a partir do peso: Esse método é o mais simples, porém só fornecerá o volume real da tora se a densidade da madeira for conhecida. Neste caso, utiliza-se da fórmula da densidade para o cálculo do volume e para isso é necessário conhecer o peso da tora.

O tronco de uma árvore apresenta variações em sua forma, assemelhando-se a sólidos geométricos que variam de cilindro a cone. Devido à impossibilidade de identificar os limites dessas formas, utiliza-se uma equação geral para descrever o perfil do fuste (CAMPOS e LEITE, 2013):

$$y = \pm ax^r$$

em que:

y = raio;

a = coeficiente real, constante que define o afilamento do perfil;

x = eixo da parábola;

r = índice da parábola ou do perfil longitudinal.

2.2 Métodos Absolutos de Cubagem Rigorosa

Os métodos absolutos de cubagem são aqueles onde o comprimento das seções não possuem vínculo com o comprimento total do fuste (CABACINHA, 2003). Os métodos de cubagem absolutos mais aplicados por profissionais do setor florestal em todo mundo, principalmente pela facilidade de uso, são: Smalian, Huber e Newton (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009). Basicamente a diferença entre os métodos está na maneira de obter os diâmetros ou as circunferências ao longo do fuste (Figura 1).

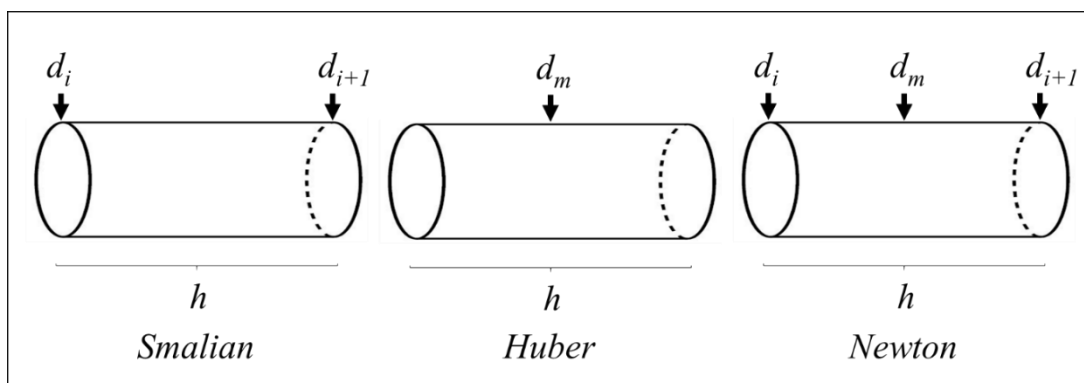


Figura 1: Locais de medição de diâmetro ou circunferência das seções para os diferentes métodos de cubagem absoluta

onde:

d_i = diâmetro da extremidade mais grossa;

d_{i+1} = diâmetro da extremidade mais fina;

d_m = diâmetro do centro da seção;

h = comprimento (altura) da seção.

No método de Smalian essas variáveis são tomadas nas extremidades da seção, enquanto no método de Huber são mensuradas no centro e, no método de Newton, tais medidas são obtidas nas extremidades e no centro da seção (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009; SCOLFARO e THIERSCH, 2004). As fórmulas utilizadas para o cálculo do volume de acordo com cada método estão apresentadas na Tabela 1, bem como as fórmulas do cilindro e do cone utilizadas para calcular o volume do toco e da ponta respectivamente em todas as ocasiões. O volume total é o resultado do somatório dos volumes das seções mais o volume do toco e da ponta ($VT = v_t + \sum v_i + v_p$), sendo v_i o volume da i -ésima seção em m^3 .

Tabela 1: Fórmulas utilizadas no cálculo do volume de seções por métodos absolutos

Método	Fórmula
Smalian	$v = \left(\frac{g_i + g_{i+1}}{2} \right) l$
Huber	$v = g_{int} l$
Newton	$v = \left(\frac{g_i + 4 g_{int} + g_{i+1}}{6} \right) l$
Toco	$v_t = g_t l_t$
Ponta	$v_p = \frac{g_n l_p}{3}$

em que:

g = área transversal calculada (m^2) a partir da fórmula $g = \frac{\pi d^2}{40.000}$, sendo d o diâmetro da seção;

v = volume da seção (m^3);

v_t = volume do toco (m^3);

v_p = volume da ponta (m^3);

g_i = área transversal no início da seção (m^2);

g_{i+1} = área transversal no fim da seção (m^2);

g_{int} = área transversal no centro da seção (m^2);

g_t = área transversal do toco (m^2);

g_n = área transversal na base da ponta (m^2);

l_t = altura do toco (m);

l_p = comprimento da ponta (m);

l = comprimento da seção (m).

A fórmula de Newton é exata para todas as formas consideradas. Smalian e Huber apresentam desempenho satisfatório quando a seção é um parabolóide. Se por exemplo a superfície da seção for mais convexa do que a do parabolóide, o volume obtido por Huber será superestimado enquanto o calculado por Smalian será subestimado, o oposto ocorrerá quando a superfície da seção for menos convexa do que o parabolóide, como ocorre na grande maioria dos casos (HUSCH *et al.*, 2003).

2.3 Métodos de Cubagem Rigorosa com Alturas Relativas

Nos métodos relativos o comprimento das seções representam um percentual do comprimento total do fuste, permitindo a comparação entre o volume de árvores com alturas diferentes (CABACINHA, 2003). Scolforo e Thiersch (2004) citaram como métodos relativos o de Hohenadl e o da FAO (Food and Agriculture Organization). No primeiro caso o fuste é dividido em cinco, dez ou mais seções e as medidas de diâmetro ou circunferências tomadas no centro da mesma, tal como no método de Huber. O método da FAO surgiu mediante a necessidade de amostrar melhor a porção basal do fuste onde a variação de forma é maior, ao se aplicar o método de Hohenadl. Assim são medidas mais duas seções na base, nas alturas de 1/6 e 5/6 da primeira seção (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009). O volume é obtido como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Fórmulas para o cálculo do volume do fuste pelos métodos relativos.

Método	Fórmula
Hohenadl	$v = \frac{h}{n} \left(\sum_1^n g_{0,i} \right)$
FAO	$v = \frac{h}{n} \left[\left(\frac{2g_1 + g_{0,1} + g_2}{4} \right) + \sum_2^n g_{0,i} \right]$

em que:

v = volume do fuste (m³);

h = altura total;

n = número de seções;

$g_{0,i}$ = área transversal no centro de cada seção (m²);

g_1 = área transversal a 1/6 da primeira seção;

g_2 = área transversal a 5/6 da primeira seção;

$g_{0,1}$ = área transversal no centro da primeira seção.

2.4 Amostragem na Cubagem Rigorosa

A utilização de amostragem na Engenharia Florestal como subsídio na tomada de decisão é uma prática comum. Como as populações florestais são geralmente extensas, de difícil acesso e o tempo disponível para a realização dos levantamentos quase sempre é escasso, os inventários estão vinculados à aplicação de procedimentos estatísticos de amostragem (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Estes procedimentos consistem na mensuração de variáveis de um conjunto de indivíduos e suas informações utilizadas para estimar os parâmetros da população. O conjunto é denominado amostra e cada indivíduo presente na amostra é chamado de unidade amostral (HUSCH *et al.*, 2003).

2.4.1 Fatores que Influenciam na Variabilidade da Floresta

Diferentes fatores influenciam na variabilidade da floresta plantada, como a espécie, idade, espaçamento, qualidade do sítio, dentre outros. Estes afetam a forma da árvore e sua relação hipsométrica (SCOLFORO e THIERSCH, 2004). Porém, torna-se necessário saber quais desses fatores irá de fato interferir na estimativa da intensidade amostral ótima e, conseqüentemente, no desempenho das equações de volume. Quanto mais heterogênia é uma floresta, maior será o seu coeficiente de variação. Por outro lado, quanto mais homogênia uma floresta, menor será o seu Coeficiente de Variação.

A espécie é um dos fatores que interfere na variabilidade da floresta, pois cada espécie tem suas características morfológicas. As espécies do *Pinus*, tendem a ser menos cônicas, que as do gênero *Eucalyptus sp.* Estes gêneros tendem a apresentar mais conicidade que espécies encontradas em floresta nativa (SCOLFORO e THIERSCH, 2004).

Outro fator que interfere na variabilidade florestal é a idade, no qual florestas com árvores com diferentes idades, tendem a aumentar sua variabilidade. A conicidade tende a ser menor nas idades mais adultas. Vale ressaltar que muitas vezes, árvores jovens, de crescimento

livre, tem longas copas e por consequência apresentam forte afilamento (SCOLFORO e THIERSCH, 2004).

O espaçamento também influencia na variabilidade da floresta. Em espaçamentos menores, as árvores tendem a ser menos cônicas que espaçamentos maiores. Árvores crescendo isoladamente possuem mais espaço para desenvolver a copa, apresentando assim pior forma que aquelas crescendo em povoamento. Portanto, pode-se assumir que quanto mais densa a floresta, maior será a competição entre as árvores e melhor a forma das árvores. Em trabalho conduzido por Lima (2009), teve como objetivo verificar a influência do espaçamento em algumas das propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis*, aos 31 anos de idade e a variabilidade radial dessas propriedades. De acordo com os resultados obtidos por Lima (2009), este concluiu que o espaçamento das árvores influenciou significativamente somente na densidade aparente, sendo que espaçamentos maiores diferiram dos menores.

2.4.2 Estratificação da Floresta

A intensidade amostral necessária para estimativas de parâmetros de maneira a atender a um erro amostral preestabelecido, será tanto maior quanto mais variável for a população em relação à variável de interesse e, conseqüentemente, maiores serão os custos. Assim, se uma população for dividida em estratos onde a variável de interesse seja menos dispersa, pode-se obter estimativas mais precisas com amostras menores (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

O volume de uma árvore é totalmente dependente de sua forma. Árvores com mesmo diâmetro e altura podem apresentar volumes distintos dependendo da forma de cada uma (CAMPOS e LEITE, 2013). Scolforo e Thiersch (2004) citam a espécie, idade, desbaste, posição sociológica, espaçamento, podas, herdabilidade e qualidade de sítio como fatores que influenciam na forma da árvore e conseqüentemente no seu volume. Tais fatores devem então ser considerados na estratificação da população visando homogeneizar a variável de interesse, no caso da cubagem rigorosa, o volume.

Scolforo e Thiersch (2004), recomendam que em plantações florestais a cubagem rigorosa pode ser realizada por idade, grupo de idade ou por estratos. As classes diamétricas podem ser consideradas diferentes estratos. A cubagem deve ser no mínimo realizada em locais com diferentes índices de sítio. De acordo com Campos e Leite (2013), para maior exatidão nas estimativas volumétricas de Eucalipto e Pinus as equações devem ser ajustadas considerando fatores como espécie, espaçamento, idade e regime de corte. Tais fatores serão então utilizados na estratificação da floresta e em cada estrato serão cubadas árvores cujo o volume subsidiará o ajuste das equações de volume. Desde que a espécie seja controlada, pode-se reunir diferentes idades na mesma região, diminuindo o número de equações ajustadas sem perda de precisão (SCOLFORO e THIERSCH, 2004).

Guimarães e Leite (1996), no estudo da influência do número de árvores na determinação de equações de volume de *Eucalyptus grandis* realizou a cubagem das árvores considerando somente as classes diamétricas no agrupamento das árvores. O mesmo foi realizado por Leal *et al.* (2015), também na amostragem de árvores de *Eucalyptus* para estimativa de modelos volumétricos. Já Pelissari *et al.* (2011), considerou duas diferentes espécies de *Pinus* e desconsiderou as diferentes classes diamétricas, no ajuste de modelos volumétricos para *Pinus* tropicais .

Scolforo e Thiersch (2004) e Campos e Leite (2013), aconselham que as classes diamétricas devem ser sempre consideradas na cubagem afim de garantir melhor representatividade da variação de diâmetro e da forma das árvores.

2.5 Número de Árvores a Serem Cubadas

Antes de definir o número de árvores que serão cubadas, deve-se ter uma ideia da distribuição diamétrica da população considerada independente do método a se aplicar (SCOLFORO e THIERSCHE, 2004). Para plantações florestais pode-se definir empiricamente um número mínimo de 30 árvores por idade, por grupo de idades ou por estrato. Porém, o número de árvores amostradas em cada classe dependerá da amplitude das mesmas (Tabela 3), assim, quanto maior a variabilidade do diâmetro ou a diferença entre o maior e o menor diâmetro, maior o número de árvores a serem cubadas (SCOLFORO e THIERSCHE, 2004). Campos e Leite (2013), sugerem para o ajuste de modelos volumétricos para pinus e eucalipto um valor entre 100 e 150 árvores com mesma frequência nas classes diamétricas e com árvores colhidas em toda a população, de maneira que esta seja bem representada.

Tabela 3: Sugestão de árvores a serem cubadas por classe diamétrica/idade para floresta equiânea. Fonte: Scolforo e Thiersch (2004).

Amplitude das classes de diâmetro	Número de árvores cubadas
2 cm	4 a 5 árvores/classes de diâmetro
3 cm	5 a 7 árvores/classes de diâmetro
5 cm	8 a 10 árvores/classes de diâmetro

Os valores para floresta inequiânea podem ser observados na Tabela 4. Quando a equação de volume é ajustada para um “mix” de espécies, o número de árvores a serem cubadas será proporcional a densidade relativa (DR) das espécies (SCOLFORO e THIERSCHE, 2004).

Tabela 4: Sugestão de árvores a serem cubadas por classe diamétrica para floresta inequiânea. Fonte: Scolforo e Thiersch (2004).

Amplitude das classes de diâmetro	Número de árvores
3 cm	8
5 cm	10 a 20
10 cm	mais de 20

Outro método para determinar a intensidade amostral para cubagem é baseado no conceito de amostra piloto, onde é amostrado um pequeno número de árvores para se obter uma medida da variabilidade do volume entre as árvores que compõe a população, a qual pode ser realizada de duas formas (SCOLFORO e THIERSCHE, 2004). No primeiro caso, a amostra piloto é selecionada de forma aleatória sem considerar as diferentes classes diamétricas. Assim, a variabilidade será alta pois tanto árvores grandes, quanto médias e pequenas compõe a mesma. No segundo caso amostra-se de 3 a 4 árvores por classe diamétrica, obtendo-se uma medida da variabilidade da variável volume em cada classe. Posteriormente é feito o cálculo e recálculo da intensidade amostral em nível de classe, até a estabilização do número de árvores a serem cubadas (SCOLFORO e THIERSCHE, 2004). A medida de variabilidade utilizada neste método é o coeficiente de variação e a formulação matemática para determinar o número ótimo de árvores é demonstrada por Scolforo e Mello (2006), a seguir apresentada:

Fórmula para determinação da intensidade amostral:

$$n = \frac{t^2 CV\%^2}{E\%^2}$$

onde:

$$CV\% = \frac{s}{\bar{x}} 100$$

sendo:

n = número de árvores a serem cubadas;

t = valor de t de Student tabelado em função do nível de significância e dos graus de liberdade;

$E\%$ = erro de amostragem admitido, em porcentagem;

$CV\%$ = coeficiente de variação da amostra piloto;

s = desvio padrão amostral do volume;

\bar{x} = média amostral do volume.

O erro de amostragem ($E\%$) é a distância máxima que se deseja entre o valor estimado e o valor paramétrico a um determinado nível de probabilidade α e $n-1$ graus de liberdade em relação à média. Scolforo e Thiersch (2004), recomendam um valor máximo de erro de 10% com um α igual a 0,05 de significância.

Para melhor representatividade da variação de diâmetro e da forma da árvore da população, as árvores amostras devem ser cubadas na mesma frequência em todas as classes diamétricas (CAMPOS e LEITE, 2013). De acordo com Scolforo e Thiersch (2004) é comum realizar a cubagem com o mesmo número de árvores em cada classe diamétrica.

Guimarães e Leite (1996) verificaram a influência do número de árvores no desempenho de equações ajustadas a partir do modelo de Schumacher e Hall (1933) para eucalipto e concluíram que ajustes feitos com números inferiores a 100 árvores apresentam grande probabilidade das equações serem tendenciosas. As equações ajustadas com 150 árvores apresentaram similaridade com aquelas ajustadas com 500, evitando a amostragem de um número excessivo de árvores que implicam em um elevado custo e tempo para a realização do trabalho.

O tamanho da amostra na cubagem irá afetar diretamente nos custos operacionais das empresas, sendo tão mais caros quanto for maior a amostra. Binoti *et al.* (2013) apresentam um custo médio de R\$ 23,28 reais por árvore de eucalipto, apenas referente a coleta de dados para cubagem.

2.6 Método da Máxima Curvatura Modificado

O método da Máxima Curvatura Modificado foi proposto por Lessman e Atkins (1963) e consiste em representar a relação entre o coeficiente de variação e o tamanho da parcela (ou intensidade amostral), no qual o ponto que corresponde ao tamanho ótimo da parcela é determinado algebricamente. Viana (1999) ressalta que este método fornece resultados mais precisos, pois estabelece uma equação de regressão para explicar a relação entre os coeficientes de variação e os respectivos tamanhos de parcelas. Os pontos de máxima curvatura modificado correspondentes ao tamanho ótimo da parcela podem ser determinados utilizando os modelos de Méier e Lessman (1971) e por Chaves (1985).

Este método foi aplicado por Silva (2001) a fim de determinar o tamanho da parcela experimental em testes clonais de Eucalipto. Os resultados e conclusões obtidos por Silva

(2001) através desse método foram que apenas 5 plantas úteis por parcela se mostraram de tamanho adequado, não implicando redução da precisão dos resultados fornecidos. Oliveira *et al.* (2011), utilizaram os modelos de Méier e Lessman (1971) e de Chaves (1985) para obter o tamanho ótimo da parcela para avaliação das principais características dendrométricas em plantios experimentais de candeia.

O método da máxima curvatura também pode ser utilizado para obtenção da intensidade amostral de árvores para cubagem rigorosa.

Outro método utilizado para definir tamanho de parcelas é o Modelo linear segmentado com platô, denominados por Anderson e Nelson (1975). Este modelo possui dois segmentos (SCHABENBERGER e PIERCE, 2002), o primeiro descreve uma reta crescente ou decrescente até um determinado valor P da curva, que é o platô de resposta, e a partir desse o valor assume uma constante. Esse modelo pode ser representado por:

$$CV_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad \text{se,} \quad X_i \leq X_c$$

$$P + \varepsilon_i \quad \text{se,} \quad X_i > X_c$$

em que:

CV_i = coeficiente de variação entre totais de parcelas com tamanho de X_i unidades básicas;

X_i = tamanho da parcela em unidades básicas em unidades básicas;

X_c = tamanho ótimo de parcelas para o qual o modelo linear se transforma em um platô, em relação a abscissa;

P = coeficiente de variação do ponto correspondente ao platô;

β_0 = representa o intercepto;

β_1 = coeficiente angular do segmento linear;

ε_i = erro associado ao CV_i considerados independentes e normalmente distribuídos com média 0 e variância constante.

O tamanho de parcelas é estimado pela expressão $X_c = (\hat{P} - \hat{\beta}_0 / \hat{\beta}_1)$ em que $\hat{\beta}_0$, $\hat{\beta}_1$ e \hat{P} , representam os valores das estimativas dos parâmetros do modelo (1).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização dos Dados

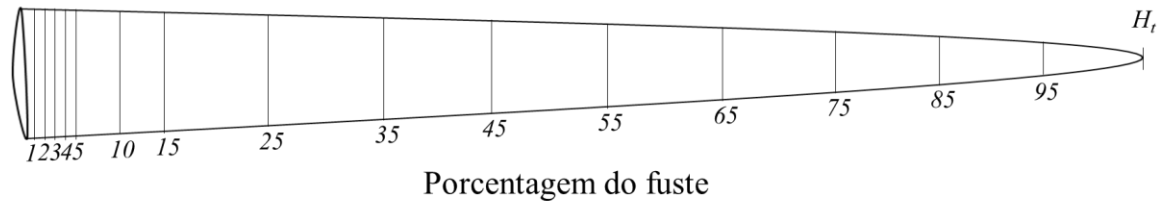
Os dados utilizados no presente estudo foram fornecidos por uma empresa do setor florestal, localizada no estado de Minas Gerais. São provenientes da cubagem rigorosa de 4.414 árvores de três clones, em plantios localizados em 16 fazendas, abrangendo quatro regiões administrativas de Minas Gerais.

Os plantios possuem idades que variaram de 1,5 a 9,5 anos com espaçamentos 2,80 x 3,00 m; 3,00 x 2,00 m; 3,00 x 2,00 x 6,00 m; 3,00 x 2,40 m; 3,00 x 2,50 m; 3,00 x 2,80 m; 3,00 x 3,00 m; 3,25 x 3,02 m; 3,5 x 2,40 m; 3,5 x 2,5 m; 3,5 x 3,00 m; 3,70 x 3,00 e 4,50 x 2,00 m. Os sistemas de manejo adotados são alto fuste e condução por talhadia. O diâmetro a 1,30 m do solo variou de 2,86 cm a 19,99 cm e altura total variou de 4 m a 34,7 metros.

3.2 Cubagem Rigorosa

A cubagem das árvores foi realizada pelo método de Smalian (REIS, 2015), utilizando-se o comprimento das seções relativo à altura total da árvore (Figura 2). O volume de cada seção do fuste foi obtido pela Equação 1. Para este trabalho foi desconsiderado o volume do toco e

da ponta. O volume total de cada árvore foi obtido a partir do somatório dos volumes das seções, considerando o diâmetro mínimo da última seção até 3 cm. Acima de 3 cm de diâmetro do fuste é considerado como ponta.



Onde: H_t – Altura total.

Figura 2: Posições de medições dos diâmetros das seções tomados em porcentagens relativas à altura total da árvore.

$$v = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot l \quad \text{Equação 1}$$

em que:

v = volume da seção (m^3)

g_1 = área transversal na base da seção (m^2)

g_2 = área transversal no topo da seção (m^2)

l = comprimento da seção (m)

3.3 Estratificação e Amostras

As árvores foram distribuídas em 25 estratos formados com base na região, fazenda e clone (Tabela 5), conforme recomendado por Reis (2015). Em cada estrato as árvores foram distribuídas em sete classes com amplitude de 2,5 cm e valor central de 3,75; 6,25; 8,75; 11,25; 13,75; 16,25 e 18,75 cm.

A Figura 3 apresenta a distribuição de frequência das árvores cubadas, mostrando que a classe com valor central 11,25 foi a mais amostrada com 838 árvores cubadas. Isto pode ser justificado por tratar-se de um plantio onde, geralmente, distribuição diamétrica é aproximadamente normal, com maior frequência de árvores nas classes com valor central próximos da média.

Tabela 5: Número de árvores observadas em cada estrato por classe diamétrica.

Estratos*	Região*	Fazenda*	Clone*	Centro de Classe de dap							Total
				3,8	6,3	8,8	11,3	13,8	16,3	18,8	
1	1	1	1	16	21	20	25	21	11	12	126
2	2	2	2	12	16	21	14	14	11	14	102
3	2	2	3	12	13	18	16	13	12	14	98
4	2	3	1	17	28	29	22	30	19	13	158
5	2	3	2	24	41	42	38	26	13	13	197
6	2	3	3	23	40	40	43	25	15	16	202
7	2	4	1	20	27	28	32	29	18	11	165
8	2	4	3	12	15	21	16	23	11	17	115
9	2	5	1	27	32	36	41	34	26	15	211
10	2	5	3	28	40	52	68	54	27	22	291
11	2	6	2	10	17	21	22	13	13	13	109
12	3	7	3	10	15	25	24	18	28	24	144
13	3	8	2	11	27	25	32	23	18	13	149
14	3	9	2	11	21	32	37	25	26	40	192
15	3	9	3	19	27	33	40	32	16	19	186
16	3	10	2	16	35	43	55	42	46	39	276
17	3	11	3	11	21	21	19	13	10	11	106
18	3	12	2	12	23	29	29	25	32	31	181
19	3	12	3	17	28	36	50	39	67	61	298
20	4	13	1	20	20	22	26	19	18	10	135
21	4	13	2	11	26	34	35	50	40	19	215
22	4	13	3	12	22	27	29	24	27	11	152
23	4	14	3	14	25	32	39	19	21	18	168
24	4	15	2	13	20	30	27	16	21	13	140
25	4	15	3	20	30	51	59	75	48	15	298
Total				398	630	768	838	702	594	484	4414

*Numeração utilizada para a identificação da região, fazenda e clone.

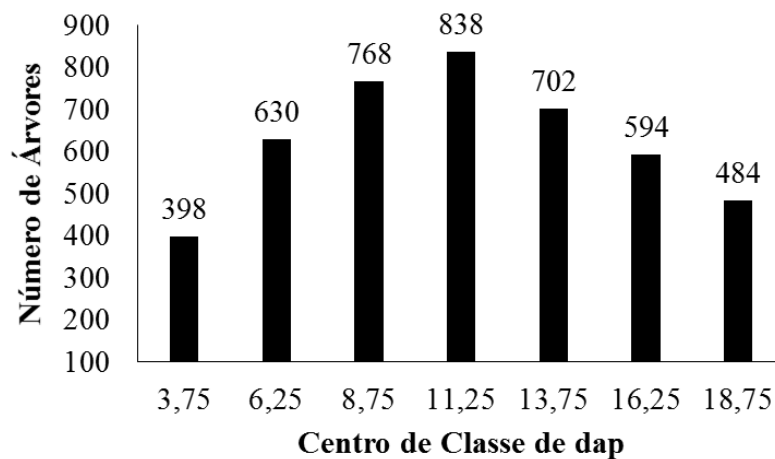


Figura 3: Número total de árvores observadas nos 25 estratos por classe diamétrica.

Em cada estrato, foi realizada intensidade amostral de 1 a 10 árvores por classe de diâmetro a 1,30 m (*dap*). A amostragem das árvores foi realizada por meio do sorteio sem reposição.

Para os volumes de cada amostra gerada por estrato, aplicou-se uma análise descritiva (Figura 4). As estatísticas descritivas obtidas em cada classe de diâmetro foram: média, desvio padrão e coeficiente de variação em porcentagem:

a) Média

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

b) Desvio padrão

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

c) Coeficiente de variação

$$CV\% = \frac{s_x}{\bar{x}} 100$$

onde:

\bar{x} = média aritmética da variável volume (m^3);

x_i = volume da i ésima árvore;

s_x = desvio padrão do volume;

$CV\%$ = coeficiente de variação em porcentagem;

n = número de árvores.

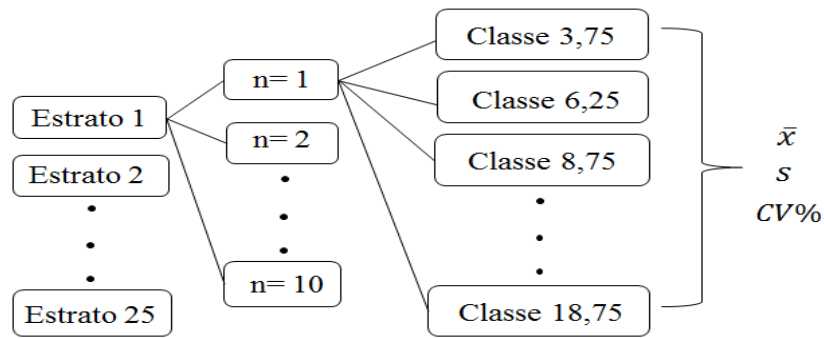


Figura 4: Diagrama representando a amostragem dos estratos e as análises descritivas de cada amostra por estrato. n = Intensidade Amostral.

3.4 Número Ótimo de Árvores Cubadas

As simulações geradas proporcionaram diferentes valores de coeficiente de variação em função da intensidade amostral e, a partir daí, foi determinado o número ótimo de árvores cubadas. A determinação do número ótimo de árvores cubadas, por classe de diâmetro, foi realizada com base no Método da Máxima Curvatura Modificado, no qual foi utilizado o modelo definido por Lessman e Atkins (1963):

Lessman e Atkins (1963)

$$CV_X = a/X^b$$

onde:

CV_X = coeficiente de variação;

X = número de árvores;

a e b = parâmetros a serem estimados.

Os parâmetros a e b foram estimados, utilizando o *software Statgraphics*. Os pontos de máxima curvatura correspondentes ao número ótimo de árvores foram determinados, utilizando os modelos definidos por Méier e Lessman (1971) e por Chaves (1985).

Méier e Lessman (1971)

$$X_0 = \{[a^2 b^2 (2b + 1)] / (b + 2)\}^{1/(2b+2)}$$

Chaves (1985)

$$X_0 = \{[a^2 b^2 (2b - 1)] / (b - 2)\}^{1/(2-2b)}$$

onde para ambos os modelos, tem-se:

X_0 = ponto da curvatura correspondente ao tamanho estimado da parcela;

a e b = parâmetros estimados do modelo de Lessman e Atkins (1963).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 6 apresenta as estatísticas descritivas média, desvio padrão e coeficiente de variação para a variável volume, nas diferentes intensidades amostrais simuladas em cada estrato. Percebeu-se que em todos os estratos há uma redução do coeficiente de variação a medida que a intensidade amostral (número de árvores) aumenta. Por exemplo, no estrato 1 observa-se a redução do CV% de 108,20% para intensidade amostral igual a 1, e 91,39% para intensidade amostral igual a 10. Essa tendência é esperada, uma vez que o aumento da amostra tem influência direta no desvio padrão, o qual dá origem ao coeficiente de variação (OLIVEIRA et al., 2011). Esse comportamento foi descrito inicialmente pela lei empírica de Smith (1938) e desde então encontrado em todos os trabalhos de determinação de tamanho ótimo de parcelas experimentais (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Os coeficientes de variação variaram de 80 a 128%. Estes valores são considerados valores altos, porém, estes retratam a variabilidade do volume para os dados utilizados, confirmado com a redução do coeficiente de variação em função do aumento da intensidade amostral.

Tabela 6: Valores das estatísticas descritivas calculadas para cada amostra dentro de cada estrato.

Estrato	n=1			n=2			n=3			n=4			n=5		
	\bar{x}	<i>s</i>	CV%	\bar{x}	<i>s</i>	CV%	\bar{x}	<i>s</i>	CV%	\bar{x}	<i>s</i>	CV%	\bar{x}	<i>s</i>	CV%
1	0,10	0,10	108,20	0,09	0,08	94,93	0,09	0,08	90,26	0,09	0,08	86,86	0,09	0,07	84,73
2	0,13	0,14	102,41	0,14	0,14	98,66	0,14	0,14	99,75	0,14	0,14	98,00	0,14	0,13	97,39
3	0,09	0,08	89,69	0,09	0,08	82,52	0,10	0,08	85,63	0,10	0,08	83,05	0,10	0,08	83,42
4	0,14	0,14	103,11	0,13	0,14	106,11	0,12	0,12	100,73	0,13	0,13	99,71	0,12	0,12	97,58
5	0,13	0,15	118,57	0,13	0,14	113,28	0,13	0,14	107,73	0,13	0,13	105,46	0,12	0,14	109,85
6	0,14	0,17	117,53	0,13	0,15	114,72	0,13	0,14	111,49	0,12	0,13	111,30	0,12	0,13	109,94
7	0,10	0,09	91,26	0,10	0,09	89,50	0,10	0,10	95,36	0,10	0,10	93,94	0,10	0,10	91,92
8	0,10	0,11	104,80	0,10	0,11	103,14	0,11	0,11	97,35	0,11	0,11	99,06	0,11	0,11	96,70
9	0,13	0,13	97,70	0,15	0,14	96,93	0,14	0,14	94,90	0,14	0,14	97,22	0,14	0,14	95,66
10	0,10	0,10	102,07	0,10	0,10	98,72	0,10	0,10	97,94	0,10	0,10	97,50	0,11	0,10	96,23
11	0,12	0,12	101,04	0,11	0,11	101,62	0,11	0,11	96,74	0,11	0,11	96,08	0,12	0,11	94,03
12	0,12	0,12	105,87	0,11	0,11	97,29	0,11	0,11	92,86	0,11	0,10	89,27	0,11	0,10	91,78
13	0,15	0,16	110,12	0,13	0,13	103,00	0,13	0,13	104,50	0,13	0,14	108,07	0,13	0,14	103,96
14	0,14	0,16	118,25	0,14	0,15	108,65	0,14	0,14	104,49	0,13	0,14	104,18	0,14	0,14	100,74
15	0,11	0,10	96,98	0,11	0,10	93,02	0,11	0,10	90,19	0,11	0,09	89,78	0,11	0,10	90,23
16	0,13	0,15	113,48	0,13	0,13	102,92	0,13	0,13	104,59	0,13	0,13	100,38	0,13	0,13	99,46
17	0,12	0,13	111,58	0,11	0,11	101,29	0,11	0,12	101,62	0,12	0,11	97,48	0,11	0,11	96,40
18	0,15	0,17	112,83	0,15	0,16	106,06	0,14	0,15	106,20	0,15	0,15	102,30	0,14	0,14	100,00
19	0,14	0,16	117,66	0,13	0,14	107,71	0,13	0,14	110,02	0,13	0,14	105,83	0,13	0,13	103,59
20	0,11	0,11	100,23	0,11	0,11	97,02	0,12	0,11	95,14	0,12	0,11	93,83	0,12	0,11	92,17
21	0,12	0,15	128,12	0,12	0,14	115,91	0,12	0,13	107,30	0,12	0,12	104,84	0,12	0,12	100,71
22	0,09	0,08	91,43	0,10	0,10	95,85	0,10	0,09	92,83	0,10	0,09	90,53	0,10	0,09	88,50
23	0,11	0,12	109,72	0,11	0,11	103,07	0,11	0,10	98,32	0,11	0,10	95,52	0,11	0,10	93,71
24	0,12	0,13	103,56	0,12	0,12	97,06	0,12	0,12	97,68	0,12	0,12	101,92	0,12	0,12	98,99
25	0,10	0,11	108,26	0,10	0,09	94,15	0,10	0,09	87,53	0,10	0,09	87,26	0,10	0,09	87,76

*CV% = coeficiente de variação em porcentagem; *s* = desvio padrão da variável; \bar{x} = média aritmética da variável de interesse.

Tabela 6: Continuação...

Estrato	n=6			n=7			n=8			n=9			n=10		
	\bar{x}	s	CV%	\bar{x}	s	CV%	\bar{x}	s	CV%	\bar{x}	s	CV%	\bar{x}	s	CV%
1	0,09	0,08	88,01	0,09	0,08	89,32	0,09	0,08	89,21	0,10	0,09	90,30	0,10	0,09	91,39
2	0,14	0,13	96,54	0,13	0,13	97,45	0,13	0,13	97,07	0,13	0,13	97,58	0,13	0,13	97,15
3	0,10	0,08	84,09	0,10	0,08	83,84	0,10	0,08	83,85	0,10	0,08	83,81	0,10	0,08	84,28
4	0,12	0,12	95,81	0,12	0,11	95,64	0,12	0,12	96,69	0,12	0,11	94,86	0,12	0,11	93,30
5	0,12	0,13	106,81	0,12	0,13	105,42	0,12	0,13	104,51	0,12	0,13	103,84	0,13	0,13	102,51
6	0,11	0,12	110,73	0,11	0,12	108,47	0,11	0,12	107,62	0,11	0,12	106,79	0,11	0,12	106,10
7	0,11	0,09	89,33	0,11	0,09	89,37	0,11	0,09	88,18	0,11	0,10	90,08	0,11	0,10	90,63
8	0,11	0,10	96,23	0,11	0,10	96,25	0,11	0,10	96,73	0,11	0,10	95,95	0,11	0,10	95,22
9	0,14	0,13	96,80	0,13	0,13	95,74	0,13	0,13	95,17	0,13	0,13	94,30	0,13	0,13	94,73
10	0,11	0,10	94,40	0,11	0,10	93,38	0,11	0,10	93,26	0,11	0,10	92,74	0,11	0,10	92,40
11	0,12	0,11	92,99	0,12	0,12	93,96	0,12	0,12	94,33	0,12	0,12	94,00	0,13	0,12	94,43
12	0,11	0,11	92,44	0,11	0,10	90,55	0,11	0,10	90,40	0,12	0,10	91,08	0,11	0,10	90,48
13	0,13	0,13	102,05	0,14	0,14	100,11	0,14	0,13	99,46	0,14	0,13	99,41	0,13	0,13	99,01
14	0,14	0,14	100,55	0,14	0,14	100,85	0,14	0,14	99,89	0,14	0,14	99,98	0,14	0,14	99,63
15	0,11	0,10	90,39	0,11	0,10	91,48	0,11	0,10	91,19	0,11	0,10	90,21	0,11	0,10	91,99
16	0,13	0,13	99,06	0,13	0,13	97,92	0,13	0,13	99,32	0,13	0,13	99,31	0,13	0,13	98,50
17	0,12	0,11	97,03	0,12	0,11	96,23	0,12	0,11	95,44	0,12	0,11	94,60	0,12	0,14	95,05
18	0,14	0,14	99,19	0,14	0,14	99,40	0,14	0,14	96,52	0,15	0,14	96,58	0,15	0,14	97,20
19	0,12	0,13	103,54	0,12	0,12	102,94	0,12	0,13	103,71	0,12	0,13	103,38	0,12	0,12	102,50
20	0,12	0,11	92,31	0,12	0,11	93,76	0,12	0,11	93,52	0,12	0,11	93,54	0,11	0,11	94,45
21	0,12	0,12	101,56	0,12	0,12	99,34	0,12	0,12	98,64	0,12	0,12	98,13	0,12	0,12	97,76
22	0,10	0,09	88,87	0,10	0,09	89,08	0,10	0,09	87,87	0,10	0,09	87,38	0,10	0,09	86,98
23	0,11	0,10	92,99	0,11	0,10	94,46	0,11	0,10	93,44	0,11	0,10	93,44	0,11	0,10	93,31
24	0,12	0,12	99,15	0,12	0,12	98,10	0,12	0,12	97,08	0,12	0,11	96,67	0,12	0,11	96,74
25	0,10	0,09	86,78	0,10	0,09	86,35	0,10	0,09	86,25	0,10	0,08	85,74	0,10	0,08	85,13

*CV% = coeficiente de variação em porcentagem; s = desvio padrão da variável; \bar{x} = média aritmética da variável de interesse.

A Tabela 7 mostra os parâmetros estimados do modelo de Lessman e Atkins (1963), o erro padrão da estimativa (S_{yx}) e as intensidades amostrais de árvores obtidas pelos modelos de Méier e Lessman (1971), pelo método de Chaves (1985). De forma geral, observa-se que o modelo proposto por Lessman e Atkins (1963) apresenta boa qualidade de ajuste da regressão, apresentando baixos valores de erro padrão da estimativa (S_{yx}). Com isso, pode-se dizer que o modelo retrata o coeficiente de variação em função da intensidade amostral, justificando assim seu uso pra estimativas de número de árvores a serem cubadas na estratificação.

Apenas 5 estratos (3, 7, 9, 15, e 24) apresentaram valores de $R^2\%$ entre 10 a 53%, considerado valores baixos, e os mesmos apresentaram intensidade amostral de 1 a 2 árvores, o qual não refletem intensidade amostral confiável de árvores a serem cubadas.

As intensidades amostrais ótimas obtidas pelo método da máxima curvatura a partir do modelo de Meier e Lessman (1971) variaram de 3 a 6 árvores. Silva *et al.* (2003), ao determinar o tamanho ótimo da parcela experimental em testes clonais de Eucalipto, verificaram que o aumento no número de plantas na parcela promove ganho significativo na precisão experimental, visto que o vértice da curva do coeficiente de variação experimental tende a ocorrer sempre na região das pequenas parcelas. Os autores ressaltam que a propriedade deste método consiste em determinar o ponto de máxima curvatura, de forma algébrica, considerando a máxima curvatura e o vértice da curva, mas não ponto de estabilização do coeficiente de variação experimental. Sendo assim, este método tende a subestimar o número ótimo de plantas por parcela nos testes clonais, interferindo na análise e na predição do desempenho dos clones.

Oliveira *et al.* (2011), Neto *et al.* (2009) e Lima *et al.* (2007), também encontraram problemas de subestimação ao utilizar esse método. Esses autores encontraram valores de tamanho de parcelas julgados inconsistentes e que não refletem tamanhos sensatos de parcelas experimentais. O mesmo pode ser observado na Tabela 7, no qual os estratos 3, 7 e 9 apresentaram intensidade amostral igual a 1 árvore, o que gera dúvida por se tratar de um número muito inferior ao recomendado por autores como Scolforo e Thiersch (2004).

Os valores encontrados pelo método da máxima curvatura modificado pelo modelo de Méier e Lessman (1971) não devem ser interpretados como tamanho ótimo, mas sim como limite mínimo de tamanho de parcela (CHAVES, 1985). Sendo assim, Chaves (1985) propôs um novo modelo para corrigir o problema da subestimação pelo método anterior. Viena *et al.* (2003) ao estimar o tamanho da parcela em experimentos com mandioca pelo método de Chaves (1985), encontraram tamanhos coerentes com as culturas estudadas (26,59 m² ou 44 plantas), pois esse método permitiu a obtenção de estimativas mais adequadas para avaliação de todas as características analisadas no experimento.

Os estratos obtiveram intensidades amostrais de árvores estimadas pelo modelo de Chaves (1985) iguais ou superiores aos estimados pelo modelo de Méier e Lessman (1971). Dos estratos, três (2, 20 e 22) apresentaram intensidade amostral de 2 árvores em ambos os modelos, quatro (8, 10, 11 e 13) apresentaram intensidade amostral de 3 árvores em ambos os modelos e nove estratos (1, 6, 12, 16, 18, 19, 21, 23 e 25) apresentaram intensidade amostral pelo modelo de Chaves (1985) superiores aos obtidos pelo modelo de Méier e Lessman (1971). Oliveira *et al.* (2011), também obtiveram valores superiores ao utilizar o modelo de Chaves (1985) para obter o tamanho ótimo da parcela para avaliação das principais características dendrométricas em plantios experimentais de candeia. Os autores ao utilizarem o modelo de Méier e Lessman (1971), obtiveram para avaliação de circunferência, altura total e volume total o número ótimo de 5, 4 e 8 plantas, respectivamente. Enquanto para o modelo de Chaves (1985), obtiveram valores de 10 plantas para avaliação de circunferência, 6 para altura total e 22 para volume total.

Tabela 7: Parâmetros estimados do modelo de Lessman e Atkins (1963) para cada estrato, o erro padrão da estimativa e as intensidades amostrais de árvores obtidas pelo modelo de Méier e Lessman (1971) e o modelo definido por Chaves (1985) para cada estrato.

Estrato	a	b	S_{yx} (%)	$n_{0\ Me.L}$	$n_{0\ Chaves}$
1	101,8900*	0,0734 ^{NS}	4,9734	5	6
2	101,3940*	0,0213*	0,8680	2	2
3	86,9785*	0,0198*	2,0234	1	1
4	105,8860*	0,0492*	1,8762	4	4
5	117,4770*	0,0575 ^{NS}	1,6632	5	5
6	117,7690*	0,0427*	0,6689	3	4
7	92,4917*	0,0111*	2,4652	1	1
8	104,5150*	0,0419*	1,2415	3	3
9	97,6700*	0,0120*	0,8983	1	1
10	102,3550*	0,0437*	0,6572	3	3
11	101,6270*	0,0385*	1,4959	3	3
12	102,4820*	0,0635*	2,6770	4	5
13	109,6000*	0,0416*	2,1382	3	3
14	115,6150*	0,0727*	1,7051	6	6
15	94,6983*	0,0225*	1,7840	2	1
16	110,4930*	0,0568 ^{NS}	2,0260	4	5
17	108,9670*	0,0664 ^{NS}	1,7444	5	5
18	112,5350*	0,0682 ^{NS}	1,0389	5	6
19	115,3130*	0,0557 ^{NS}	1,7479	4	5
20	98,8375*	0,0292*	1,4697	2	2
21	125,8050*	0,1207 ^{NS}	1,9583	9	13
22	94,4360*	0,0325*	2,0334	2	2
23	107,9510*	0,0731 ^{NS}	1,8240	5	6
24	101,8310*	0,0208*	1,9108	2	1
25	103,1510*	0,0954 ^{NS}	3,6159	6	8

a e b = parâmetros estimados do modelo de Lessman e Atkins (1963). $n_{0\ Me.L}$ = intensidade amostral obtida pelo modelo definido por Méier e Lessman (1971). $n_{0\ Chaves}$ = intensidade amostral obtida pelo modelo definido por Chaves (1985). *significância a 5%. NS= não significância.

O modelo de Chaves (1985) estima intensidade amostral em que o ganho em precisão é mais significativo. Porém, nos estratos de forma geral, ambos os métodos apresentaram resultados consistentes para a estimativa da intensidade amostral de árvores a serem cubadas. Para estratos que obtiveram valores diferentes nos dois métodos, deve-se avaliar o custo da cubagem e o ganho de precisão para tomada de decisão. Binoti *et al.* (2013) apresentaram um custo médio de R\$ 23,28 por árvore de eucalipto, apenas referente a coleta de dados para cubagem. Fazendo a correção desse valor considerando 8,32% de inflação (BCB, 2016), têm-se o valor de R\$ 29,58 por árvore. Os valores do custo total de cubagem para o número ótimo estimado pelos dois métodos estão representados na Tabela 8. Os estratos 6 e 12 por exemplo, a cubagem pelo número ótimo obtido por Chaves (1985), resulta num aumento de R\$ 204,96 reais nos custos referente a coleta de dados, ao cubar uma árvore a mais em cada classe diamétrica. Esse valor demonstra o quanto é importante a redução da intensidade amostral de forma a garantir o menor custo sem deixar de lado a precisão da estimativa das equações de

volume. A utilização de intensidade amostral de árvores pequeno no ajuste de modelos volumétricos pode resultar em equações imprecisas na estimativa. Por outro lado, intensidade amostral elevada de árvores não é recomendado por refletir em aumentos significativos de tempo e custo para as empresas (GUIMARÃES e LEITE, 1996).

As Figuras 5, 6 e 7 mostram os valores observados, estimados e ponto de máxima curvatura do coeficiente de variação da variável volume. Percebe-se que a medida que se aumenta a amostragem inicial até intensidade amostral igual no intervalo de 3 a 6 árvores na maioria dos casos, o coeficiente de variação tende a reduzir ou estabilizar, o que pode ser observado pelo ponto de máxima curvatura, mostrando que a partir de determinada intensidade amostral não se tem ganhos significativos de precisão ao aumentar a intensidade amostral.

Vários pesquisadores (NETO *et al.*, 2004; DONATO *et al.*, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2011) avaliando diferentes tamanhos de parcelas, relataram que o CV diminui com o aumento do tamanho da parcela, porém ao se atingir o tamanho ótimo, o ganho em precisão reduz rapidamente com o acréscimo de mais área à parcela. Souza *et al.* (2015), ao determinar o tamanho adequado de parcela para avaliação do rendimento de grãos do girassol, verificou que o maior valor do CV foi obtido no menor tamanho de parcela e onde ocorreu uma redução contínua não linear deste CV com o aumento do tamanho da parcela. Sendo assim, o ganho de precisão pela adição de mais uma área é significativa quando o tamanho da parcela é pequeno, mas depois que esta atinge o tamanho adequado, ganha-se pouco em precisão pelo aumento do tamanho da parcela com o incremento de mais área nesta parcela.

Brito *et al.* (2012), ao estimar o tamanho da parcela para cultura do mamoeiro em casa de vegetação, obteve tamanho ótimo de parcela de 6 plantas pelo método de Méier e Lessman (1971). Oliveira *et al.* (2011), ao utilizar o mesmo método da Máxima Curvatura Modificado para determinar o tamanho ótimo de parcelas experimentais para a avaliação da variável dendométrica volume em plantio experimentais de candeia, encontrou para o modelo de Méier e Lessman (1971) e o modelo definido por Chaves (1985), 8 e 22 plantas, respectivamente.

Em ambos os modelos, as intensidades amostrais ótimas de árvores estiveram no intervalo de 3 a 6 árvores por estrato. Sendo assim, a fim de reduzir erros na amostragem de árvores a serem cubadas independente do estrato recomenda-se no mínimo 3 árvores por classe diamétrica.

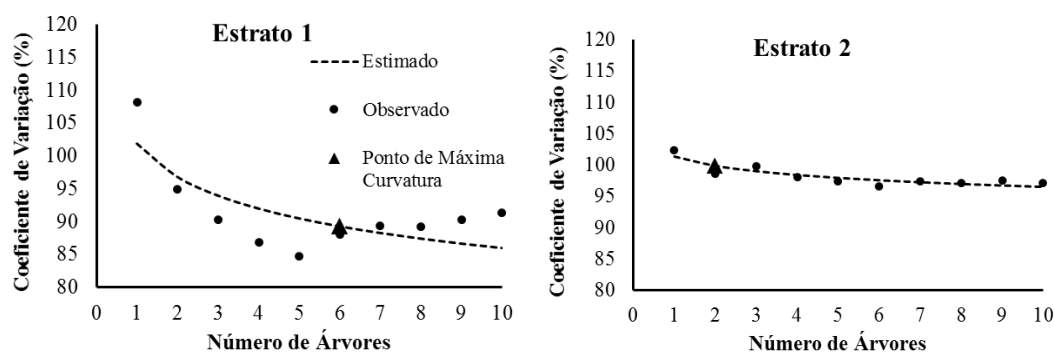


Figura 5: Valores observados, estimados e ponto de máxima curvatura do coeficiente de variação da variável volume.

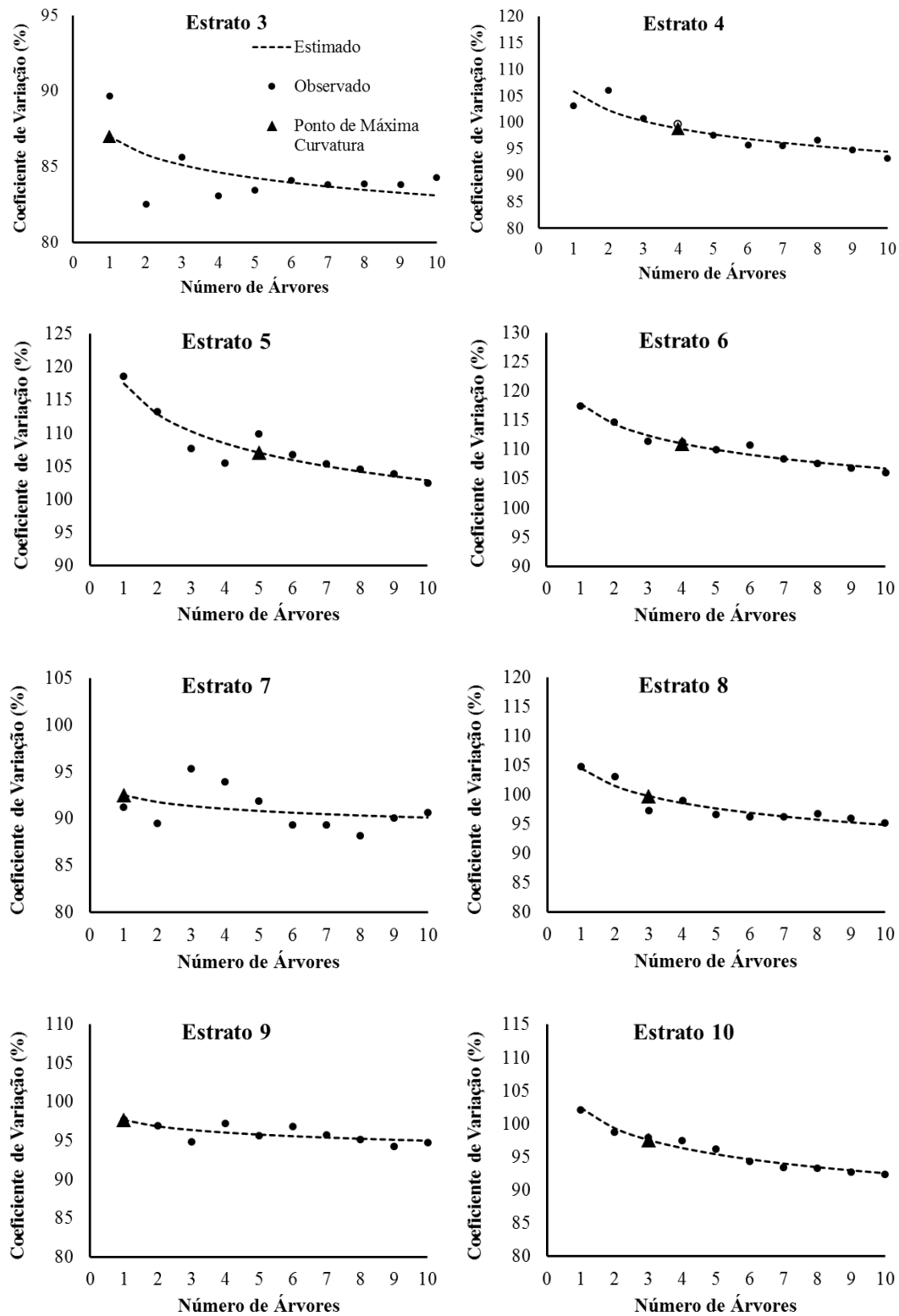


Figura 6: Valores observados, estimados e ponto de máxima curvatura do coeficiente de variação da variável volume.

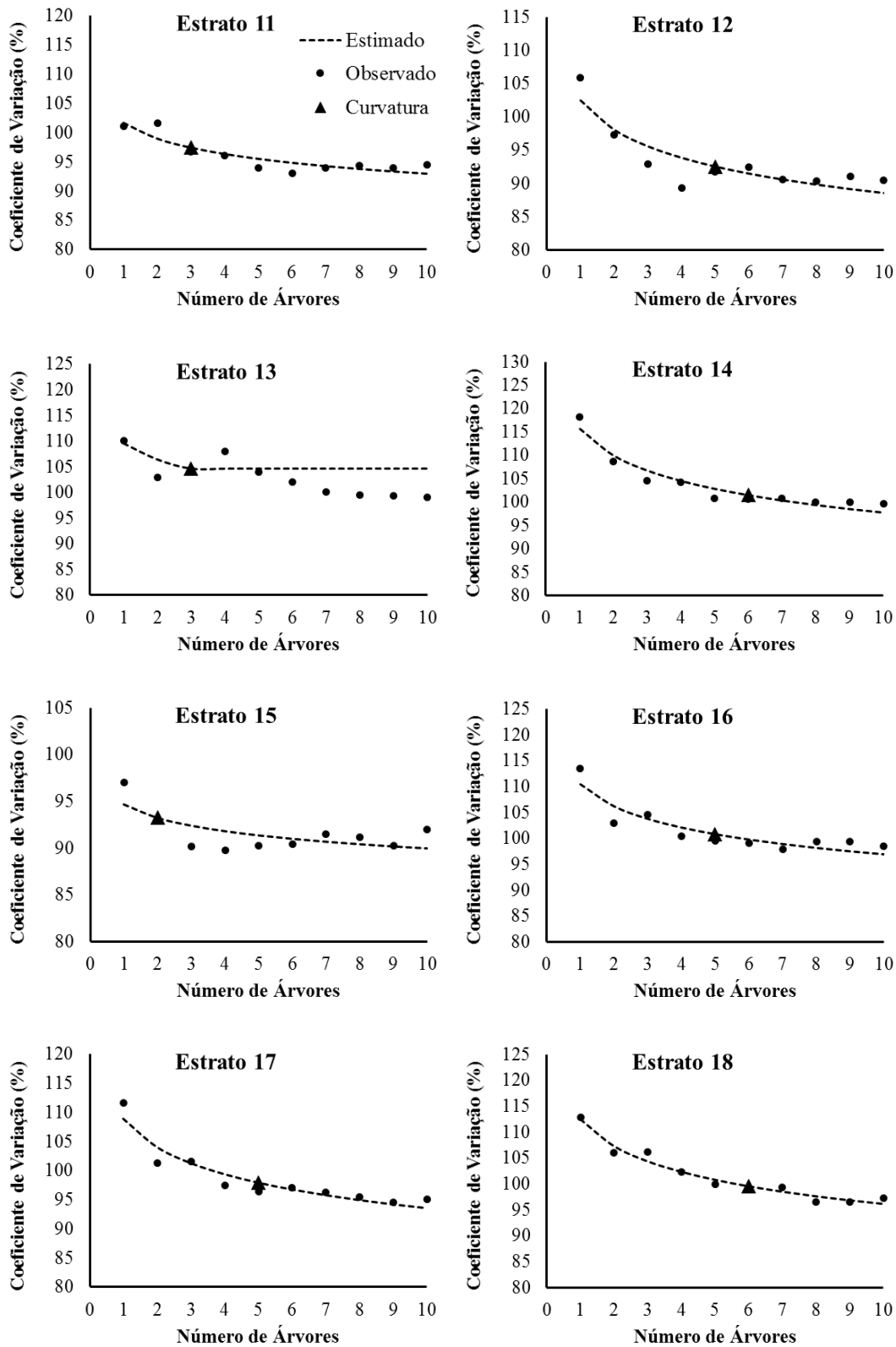


Figura 7: Valores observados, estimados e ponto de máxima curvatura do coeficiente de variação da variável volume.

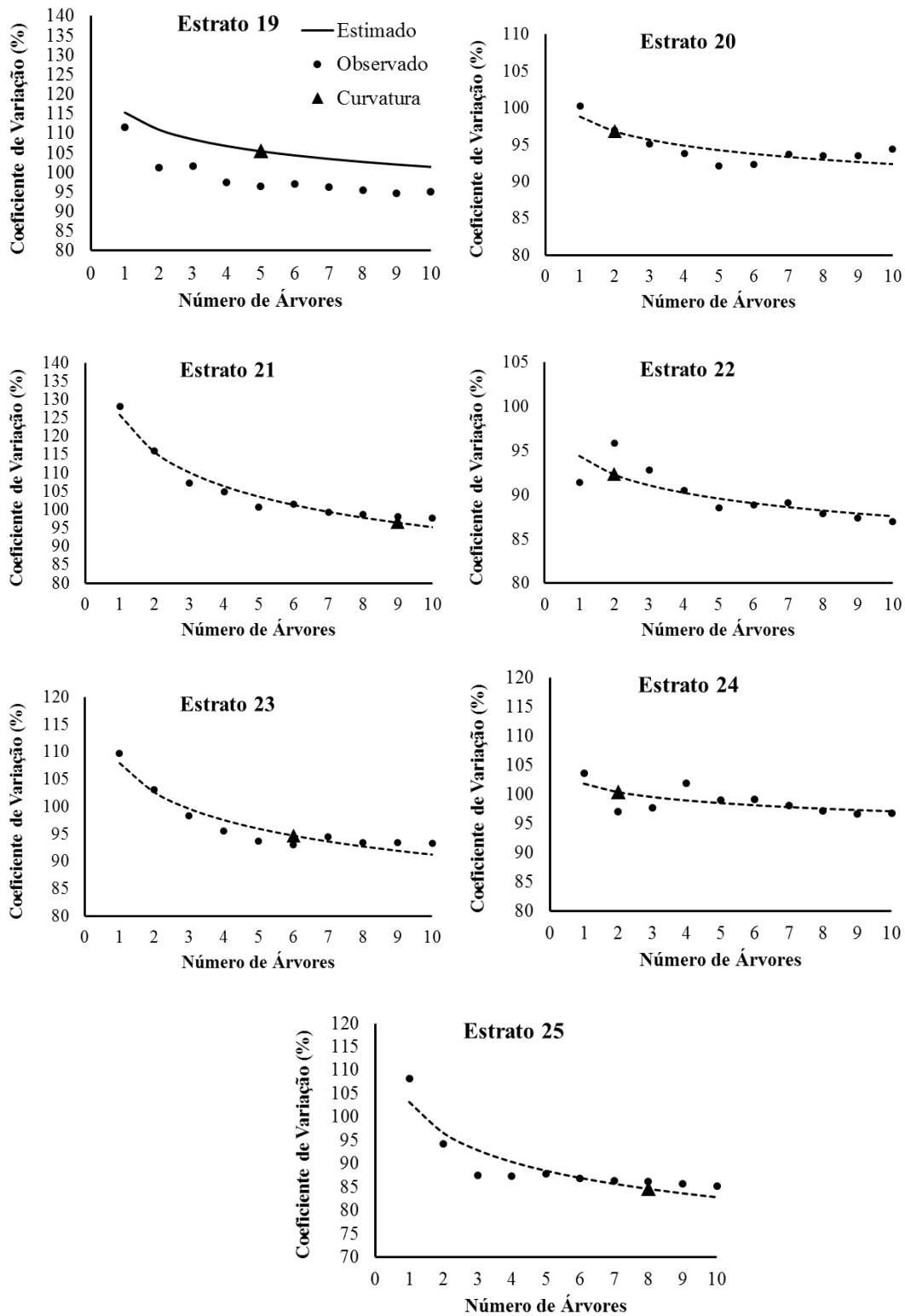


Figura 8: Valores observados, estimados e ponto de máxima curvatura do coeficiente de variação da variável volume.

5. CONCLUSÃO

A estratificação da floresta é uma forma de reduzir a intensidade amostral da cubagem rigorosa.

A metodologia da máxima curvatura modificado pode ser utilizada para determinar a intensidade amostral ótima na cubagem rigorosa.

O número ótimo de árvores a serem cubadas rigorosamente em plantios de Eucalipto, é de três a seis árvores por classe de diâmetro com amplitude de 2,5 cm, considerando as condições deste estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, R. L.; NELSON, L. A. A family of models involving intersecting straight lines and concomitant experimental designs useful in evaluating response to fertilizer nutrients. **Biometrics**, v.31, n.2, p.303-318, 1975.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. (Org.). **Histórico de Metas para a Inflação no Brasil**. 2016. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/Pec/metas/TabelaMetaseResultados.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; SILVA, A. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 125-129, 2013.

BRITO, M. C. M.; FARIA, G. A.; MORAIS, A. R.; SOUZA, E. M.; DANTAS, J. L. L. Estimação do tamanho ótimo de parcela via regressão antitônica. **Revista Brasileira de Biometria**, v.30, p.353-366, 2012.

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**. 2003. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 4^a. ed. Viçosa: UFV, p. 605, 2013.

CHAVES, L. J. **Tamanho da parcela para seleção de progênies de milho (*Zea mays* L.)**. 1985. 148 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 50, p. 37-42, 1996.

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW, JR. J. A. **Forest Mensuration**. 4^a. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, p. 456, 2003.

LEAL, F. A.; CABACINHA, C. D.; CASTRO, R. V. O.; MATRICARDI, E. A. T. Amostragem de árvores de *Eucalyptus* na cubagem rigorosa para estimativa de modelos volumétricos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 1, p. 91-103, 2015.

LESSMAN, K. J.; ATKINS, R. E. Optimum plot size and relative efficiency of lattice designs for grain sorghum yield test. **Crop Science**, v.3, n.6, p.477-481, 1963.

LIMA, J. F.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. S.; FARIA, G. A. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com plantas de mamoeiro em casa de vegetação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1411-1415, 2007.

LIMA, L. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; LONGUI, E. L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis*. **Revista Cerne**, v. 15, n. 2, p. 244-250, 2009.

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

MEIER, V. D.; LESSMAN, K. J. Estimation of optimum field plot shape and size for testing yield in *Crambe abyssinica* Hochst. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 5, p. 648-650, 1971.

NETO, D. H., SEDIYAMA, T., DE SOUZA, M. A., LEITE, L. F. C., & BLANCO, F. F. Tamanho de parcela para avaliação da produção em trigo irrigado, sob dois sistemas de plantio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 1, p. 86-93, 2009.

NETO, D. H., SEDIYAMA, T., DE SOUZA, M. A., CECON, P. R., YAMANAKA, C. H., SEDIYAMA, M. A. N., & VIANA, A. E. S. Tamanho de parcelas em experimentos com trigo irrigado sob plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 517-524, 2004.

OLIVEIRA, G. M. V.; MELLO, J. M.; LIMA, R. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Tamanho e forma de parcelas experimentais para *Eremanthus erythropappus*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 327-338, 2011.

OLIVEIRA, M. L. R.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; CAMPOS, J. C. C.; SOARES, C. P. B.; SANTANA, R. C. Estimação do volume de árvores de clones de Eucalipto pelo método da similaridade de perfis. **Revista Árvore**, v. 33, n. 1, p. 133-141, 2009.

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

PÉLLICO NETTO, S.; SANQUETTA, C. R. Determinação do número de estratos em estratificação volumétrica de florestas naturais e plantadas. **Floresta**, v. 24, n. 12, p. 49-58, 1994.

REIS, M. **Crterios de Estratificao para o Planejamento da Cubagem Rigorosa**. 2015. Monografia (Graduao em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropdica, RJ.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, R. **Biometria Florestal: Mediao, Volumetria e Gravimetria**. Lavras: UFLA/FAEPE, p. 285, 2004.

SILVA, R. L. da. **Influencia do tamanho da parcela experimental em testes clonais de eucalipto**. 2001. 67 p. Dissertao (Mestrado em Cincia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

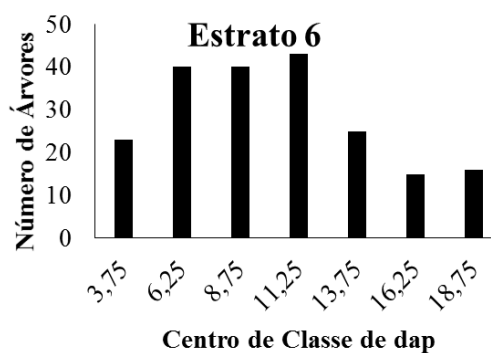
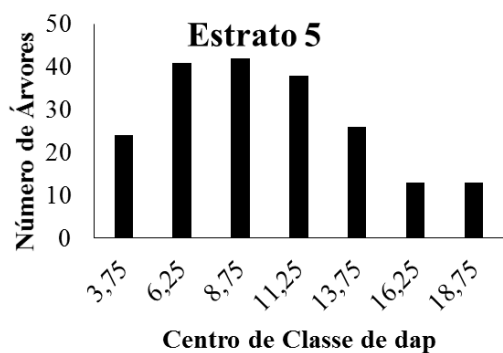
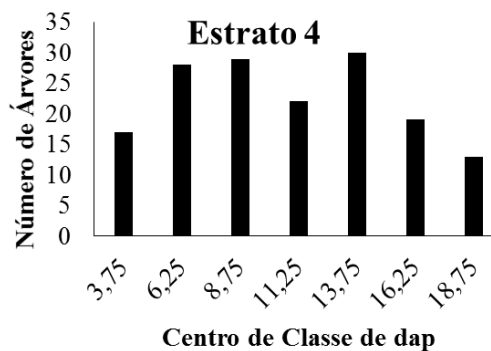
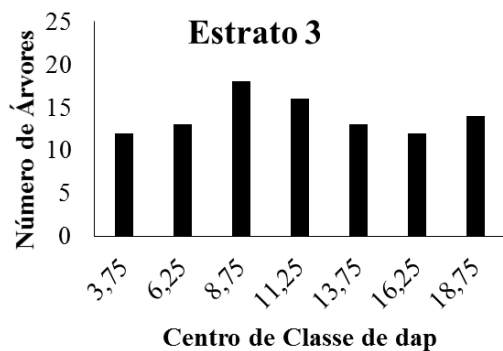
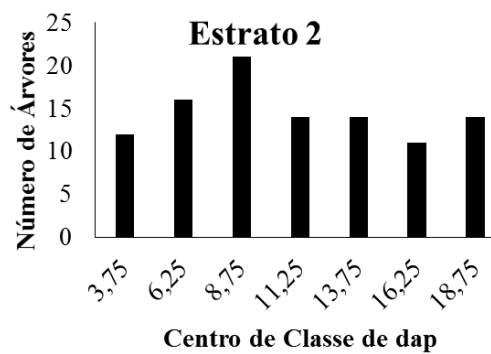
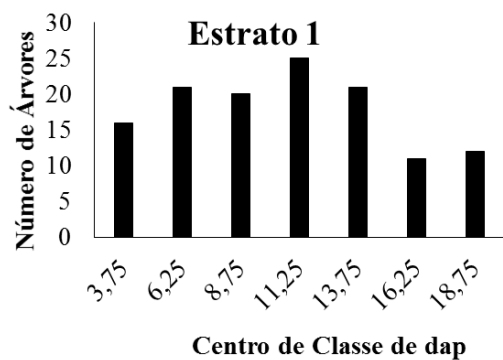
SILVA, R. L. et al. Determinao do tamanho oimo da parcela experimental pelos mtodos da mxima curvatura modificado, do coeficiente de correlao intraclassa e da anlise visual em testes clonais de eucalipto. **Revista rvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 669-676, 2003.

SOUSA, R. P., PAULO, S. L., SILVA, J. P., DA SILVA, J., DE OLIVEIRA, V. R., e OLIVEIRA, A. M. D. P. Tamanho ótimo de parcela para avaliação do rendimento de grãos do girassol. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 21-26, 2015.

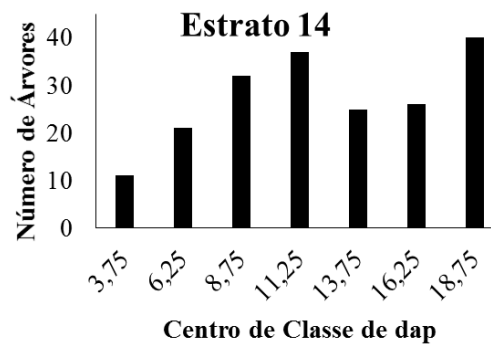
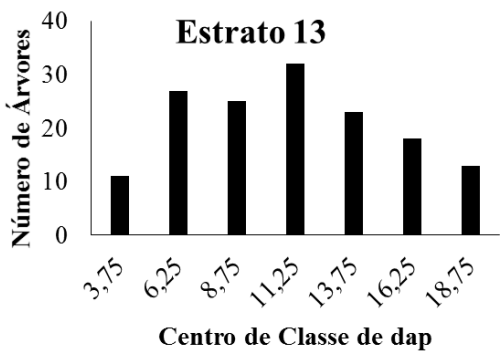
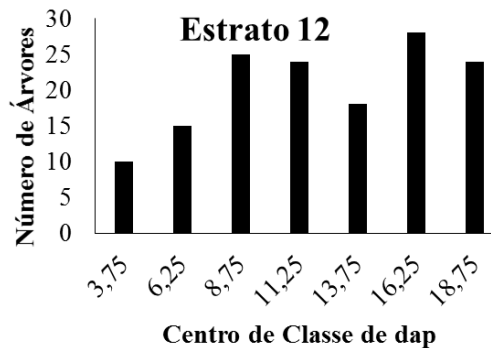
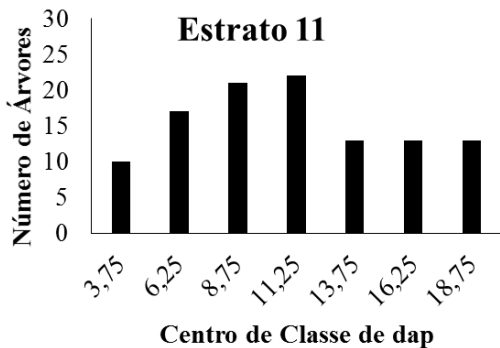
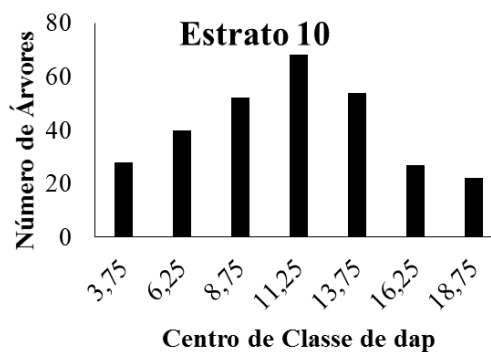
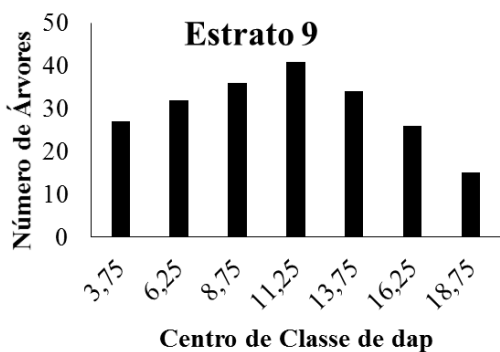
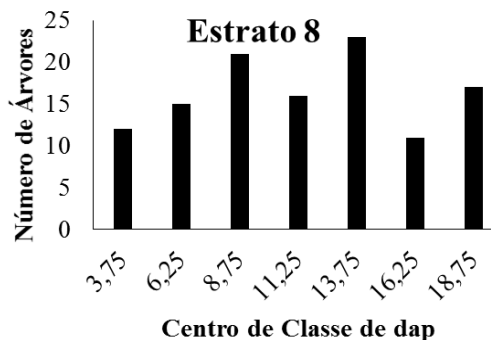
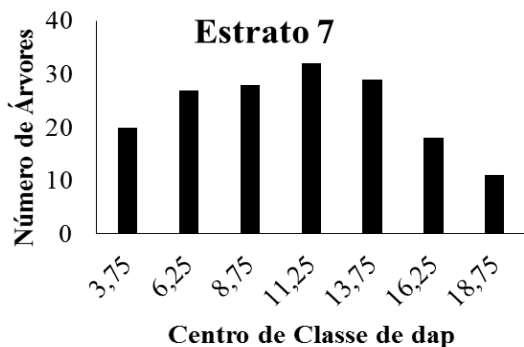
VIANA, A. E. S., SEDIYAMA, T., CECON, P. R., LOPES, S. C., & SEDIYAMA, M. A. N. Estimativas de tamanho de parcela em experimentos com mandioca. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 58-63, 2002.

7. APÊNDICE

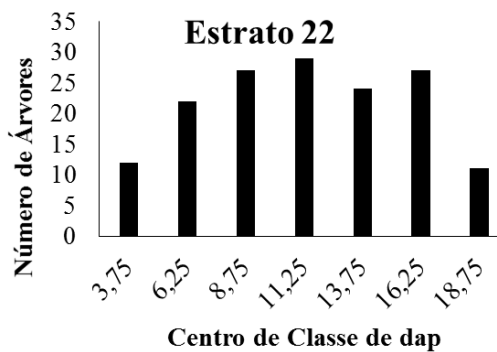
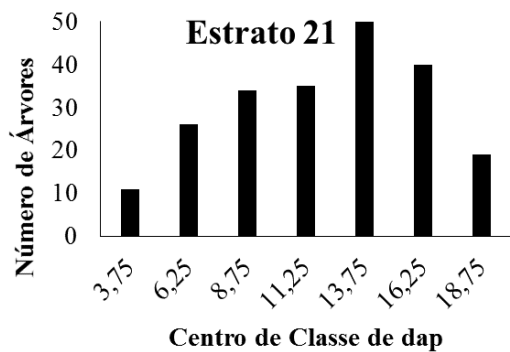
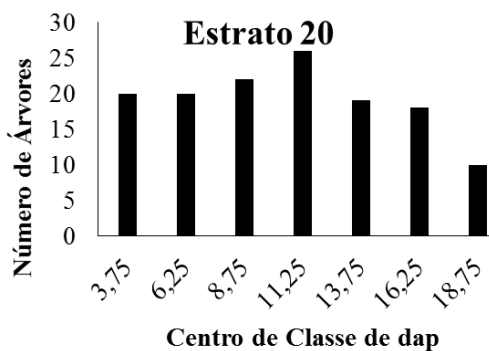
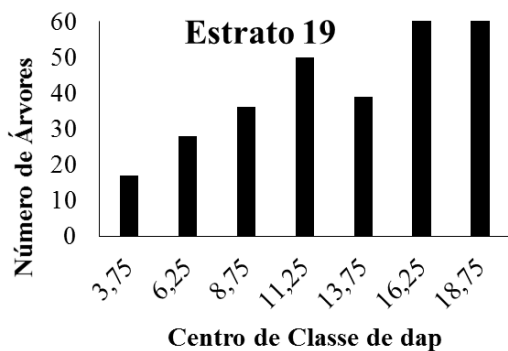
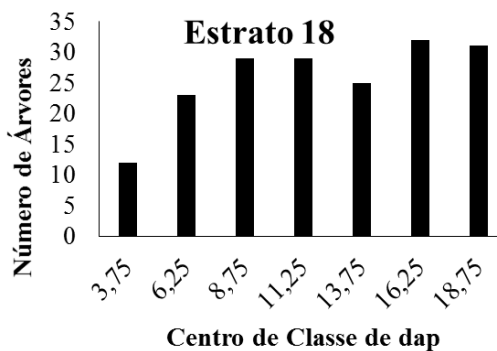
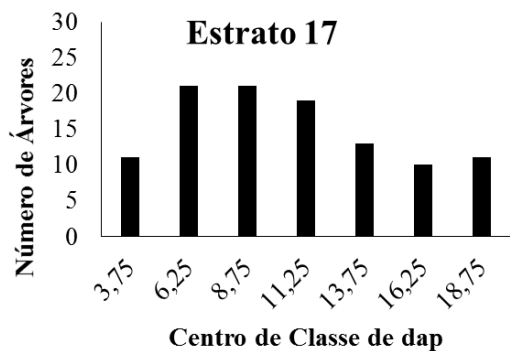
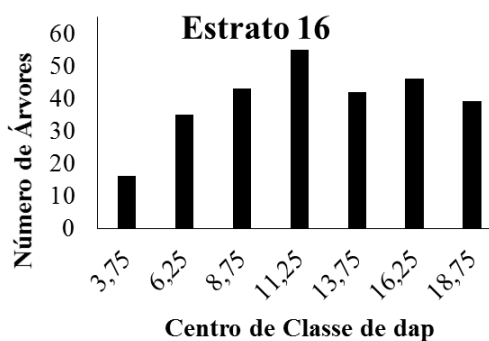
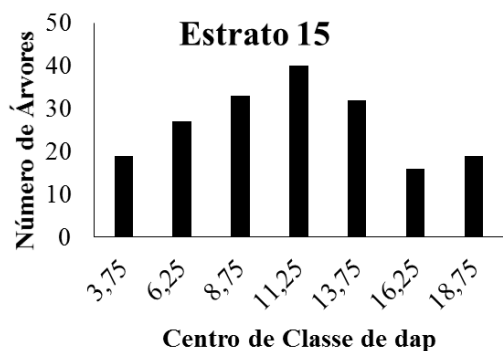
APÊNDICE A: Frequência de número de árvore por classe diamétrica em cada estrato.



APÊNDICE A: Continuação...



APÊNDICE A: Continuação...



APÊNDICE A: Continuação...

