

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

PALLOMA NUNES DE OLIVEIRA

**FORMA E TAMANHO DE UNIDADES AMOSTRAIS PARA SISTEMA
AGROFLORESTAL EM MONTE CARMELO, MINAS GERAIS**

**MONTE CARMELO, MG
2023**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

PALLOMA NUNES DE OLIVEIRA

**FORMA E TAMANHO DE UNIDADES AMOSTRAIS PARA SISTEMA
AGROFLORESTAL EM MONTE CARMELO, MINAS GERAIS**

Projeto apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda.

**MONTE CARMELO, MG
2023**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

PALLOMA NUNES DE OLIVEIRA

**FORMA E TAMANHO DE UNIDADES AMOSTRAIS PARA SISTEMA
AGROFLORESTAL EM MONTE CARMELO, MINAS GERAIS**

Monte Carmelo, 16 de novembro de 2023

Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda
Orientador

Geovana Maria Oliveira Leandro
Membro da banca

Lidiomar Soares da Costa
Membro da banca

**MONTE CARMELO, MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a Deus, fonte de toda sabedoria e inspiração. Agradeço por sua orientação constante, força nos momentos desafiadores e por ser a luz que ilumina o caminho de minha jornada acadêmica.

Aos meus pais, meu esposo e meu filho João Pedro, dedico meus mais sinceros agradecimentos. Seu amor, compreensão e incentivo foram meu alicerce durante toda essa jornada.

Ao meu orientador Rodrigo, agradeço por toda paciência, conselhos, dedicação e todos os ensinamentos, sou muito grata a você. Admiro muito o profissional e pessoa que você é.

Gostaria de dedicar a minha profunda gratidão a mim mesma por todo o empenho, dedicação e perseverança ao longo desses anos. Este processo exigiu esforço contínuo, superação de desafios e comprometimento pessoal, e estou incrivelmente orgulhosa da jornada que percorri.

À Universidade Federal de Uberlândia, sou grata pela oportunidade de realizar este curso e pela infraestrutura que proporcionou um ambiente propício para meu aprendizado.

Aos professores e colegas de curso, expresso minha gratidão por compartilharem conhecimentos, experiências e por contribuírem para o meu crescimento profissional e pessoal.

Por fim, agradeço a todas as pessoas cuja presença e contribuições moldaram este percurso acadêmico. Que Deus abençoe a cada um de vocês.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Área de estudo localizado em um sistema agroflorestal no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....15
- Figura 2.** Esquema de grupo de unidades amostrais retangulares e circulares com diferentes áreas, distribuídos em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....17
- Figura 3.** Dispersão dos resíduos para estimativa de altura total para cedro (a) e mogno (b), em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....22
- Figura 4.** Estimativas de número de árvores, área basal e volume, por hectare, para diferentes tamanhos de unidades amostrais, para as formas retangular (a, c, e) e circular (b, d, f), para um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....24
- Figura 5.** Tendência do coeficiente de variação para diferentes tamanhos e formas de unidades amostrais, em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....30
- Figura 6.** Estimativas de volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) e respectivos intervalos de confiança para diferentes tamanhos e formas de unidades amostrais, em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....31
- Figura 7.** Distribuições diamétricas com os dados do censo (a) e para unidades amostrais retangulares de tamanhos de 100 m^2 (b), 200 m^2 (c), 300 m^2 (d), 400 m^2 (e), 500 m^2 (f), 600 m^2 (g) e 700 m^2 (h), em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....33
- Figura 8.** Distribuições diamétricas com os dados do censo (a) e para unidades amostrais circulares de tamanhos de 100 m^2 (b), 200 m^2 (c), 300 m^2 (d), 400 m^2 (e), 500 m^2 (f), 600 m^2 (g) e 700 m^2 (h), em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dimensões e áreas de unidades amostrais avaliadas em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	16
Tabela 2. Estatísticas descritivas das variáveis obtidas para um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	20
Tabela 3. Coeficientes e estatísticas de avaliação do ajuste para o modelo hipsométrico para as espécies cedro e mogno, em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	21
Tabela 4. Estimativas de número de árvores, área basal e volume, por hectare, para diferentes configurações amostrais em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	23
Tabela 5. Diferença percentual dos valores estimados de número de árvores, área basal e volume, por hectare, em relação aos respectivos valores do censo, para as formas retangular e circular, para um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais...25	
Tabela 6. Análise da similaridade estatística das estimativas de número de árvores, área basal e volume, por hectare, com os respectivos valores do censo, para as formas retangular e circular, para um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais...26	
Tabela 7. Média volumétrica, erro de amostragem relativo e tamanho de amostral ideal para diferentes formas e tamanhos de unidades amostrais, para um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	28
Tabela 8. Análise da aderência das distribuições diamétricas para diferentes tamanhos e formas de unidades amostrais, em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	35

RESUMO

O inventário florestal permite a coleta das informações desejadas por meio de métodos de amostragem. A forma e as dimensões das unidades amostrais é um fator decisivo em um inventário florestal. O objetivo deste estudo foi definir a forma e o tamanho de unidades amostrais de área fixa mais adequados para inventários florestais de um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais. Primeiramente, o censo florestal foi conduzido para obtenção de diâmetro e altura das árvores. Posteriormente, oito grupos de unidades amostrais de área fixa foram distribuídos. As formas retangulares e circulares foram avaliadas, assim como as áreas de 100 a 700 m². Para cada configuração amostral, as estimativas de número de árvores (N), área basal (G) e volume (V), por hectare, em relação ao censo foram avaliadas. A intensidade amostral foi avaliada para cada configuração amostral, levando-se em conta o erro admissível de 10%. Utilizou-se o teste t pareado para comparar. Além disso, o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) foi aplicado para avaliar a similaridade estatística da distribuição diamétrica entre o censo e cada configuração amostral. O estudo conclui que áreas de 300 m² foram mais eficientes para estimar o número de árvores (N), tanto em formas circulares quanto em retangulares. Para área basal, a área de 300 m² foi eficaz em unidades amostrais circulares e de 600 m² na retangular. Para o volume, a área retangular de 300 m² foi mais precisa, mas na forma circular a de 700 m² foi mais apropriada. Menores tamanhos de unidades amostrais demandaram maior intensidade amostral para a precisão, enquanto maiores áreas alcançaram a mesma precisão com menor intensidade amostral. Unidades retangulares representaram bem a distribuição diamétrica a partir de 300 m², enquanto unidades circulares apresentaram diferenças estatísticas em todas as áreas avaliadas.

Palavras-chave: sistema agroflorestal, métodos amostrais, método de área fixa.

ABSTRACT

The forest inventory allows the collection of the desired information through sampling methods. The shape and dimensions of the sampling units are a decisive factor in a forest inventory. The objective of this study was to define the shape and size of fixed area sampling units most suitable for forest inventories of an agroforestry system in Monte Carmelo, Minas Gerais. First, the forest census was conducted, in which the diameter and height of trees were obtained. Subsequently, eight groups of fixed-area sampling units were distributed. Rectangular and circular shapes were evaluated, as well as areas from 100 to 700 m². For each sampling configuration, estimates of the number of trees (N), basal area (G), and volume (V), per hectare, about the census were evaluated. The sampling intensity was evaluated for each sampling configuration, taking into account an allowable error of 10%. The paired t-test was used to compare. Furthermore, the Kolmogorov-Smirnov (KS) test was applied to evaluate the statistical similarity of the diameter distribution between the census and each sampling configuration. The study concludes that areas of 300 m² are more efficient for estimating the number of trees (N) in both circular and rectangular shapes. For basal area, 300 m² was effective in circular plots and 600 m² in rectangular plots. In the case of volume, the rectangular area of 300 m² was more accurate, but in the circular shape, the 700 m² was more appropriate. Smaller areas require more samples for accuracy, while larger areas achieve the same accuracy with fewer samples. Rectangular units represented the diameter distribution well from 300 m², while circular units showed statistical differences in all areas.

Keywords: forestry system, sampling methods, fixed area method.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 JUSTIFICATIVA	12
3 OBJETIVOS.....	14
3.1 Objetivo geral.....	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4.1 Descrição da área	15
4.2 Censo.....	15
4.3 Amostragem	16
4.4 Obtenção de estimativas dendrométricas	17
4.4.1 Equações hipsométricas	17
4.4.2 Estimativas volumétricas.....	18
4.5 Variáveis analisadas	18
4.6 Distribuição diamétrica	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1 Estatísticas descritivas	20
5.2 Modelagem hipsométrica	21
5.3 Estimativas de variáveis do povoamento.....	22
5.4 Similaridade estatística de estimativas de variáveis do povoamento	26
5.5 Análise do intervalo de confiança e suficiência amostral para o volume.....	28
5.6 Distribuição diamétrica	32
6 CONCLUSÕES	36
7 REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A produção de madeira para diversos fins é uma atividade de grande importância para o setor econômico do Brasil, em que a exploração sustentável tem sido grande aposta para os produtores, que buscam não só retorno econômico, como também uma forma de conservar o meio ambiente. Os sistemas agroflorestais (SAF's) são práticas de uso e manejo das culturas em que espécies agrícolas são combinadas com espécies arbóreas na mesma área, restaurando o solo e produzindo alimentos (AMADOR; VIANA, 1998). Para a implantação dessa técnica, é fundamental que as espécies escolhidas sejam adequadas a serem consorciadas. Um exemplo de consórcio entre espécies florestais e agronômicas é entre o mogno brasileiro, cedro australiano e o café.

O mogno-brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) é uma espécie nativa da Amazônia, o qual possui valor madeireiro muito alto. Sua madeira é muito utilizada para a fabricação de móveis. Muitos apreciam o material pela fácil trabalhabilidade, pela estabilidade e durabilidade (COSTA; MORAIS; CAMPOS, 2013). O cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem) apresenta características semelhantes ao mogno e à outra espécie de cedro-brasileiro (*Cedrella odorata*), sendo indicadas principalmente na fabricação de móveis finos e acabamentos em construção civil (SÁ, 2009).

O café arábica (*Coffea arabica*) é originário das florestas tropicais da Etiópia, África. No Brasil, é possível observar o aumento na implantação de café em sistemas agroflorestais em várias regiões do país (MÜLLER, 2004). Além de diversificar o faturamento do produtor, a combinação de cafeeiro com espécies arbóreas pode apresentar outros benefícios, como a melhoria da qualidade do produto (LUNZ et al., 2005).

Tão importante como a escolha das espécies a serem utilizadas no sistema é a forma de estimar ou monitorar o crescimento delas. Para as espécies florestais, normalmente é realizado o inventário florestal. O inventário florestal é uma técnica de grande importância para a obtenção de informações sobre determinada área, de caráter qualitativo e quantitativo. Por meio dele, é possível fazer o monitoramento da floresta e, assim, acompanhar as mudanças que ocorrem na mesma no decorrer dos anos. Além disso, no inventário florestal é possível mapear fatores bióticos e abióticos que podem influenciar a produção do plantio; definir os custos de produção no caso de florestas plantadas e definir estratégias de manejo para obter uma produção de forma sustentada (MORAIS FILHO et al., 2003).

Em termos gerais, para o levantamento de estimativas de forma precisa e eficiente dos parâmetros da população, a aplicação de métodos de amostragem se faz necessária (FARIAS et al., 2002). O método de amostragem se refere à abordagem de uma única unidade amostral, ou seja, está relacionado à forma com que as informações de interesse serão coletadas em campo. A utilização de unidades amostrais promove a obtenção de estimativas com tempo e custos reduzidos, em relação à amostragem da população em sua totalidade. Embora as unidades amostrais possam ser de área fixa ou variável (MOSCOVICH; BRENA; LONGHI, 1999), no Brasil predomina as primeiras, caracterizando o método de área fixa.

No método de amostragem de área fixa, a probabilidade de seleção das árvores é proporcional à área da unidade amostral e à frequência das árvores que a compõem (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). As formas de unidades amostrais muito utilizadas para este método são as retangulares e circulares.

A forma e as dimensões das unidades amostrais é um fator decisivo na execução de um inventário florestal. A escolha adequada do tamanho e a forma das unidades amostrais podem ter grande influência no nível de precisão dos valores estimados (SINGH, 1974). Péllico Netto e Brena (1997) asseguram que a forma e o tamanho das unidades amostrais têm sido decididos mais pela praticidade e operacionalidade de sua localização.

Porém, cada população florestal tem características peculiares, como a espécie ou material genético, tratamentos silviculturais, atributos dendrométricos, densidade por unidade de área e idade, que influenciam diretamente na escolha da forma e tamanho das unidades amostrais. Sempre que necessário, a condução de estudos que demonstrem a melhor configuração de unidades amostrais para condições específicas de plantio se faz necessária. Portanto, a definição do tamanho e da forma da unidade amostral para situações particulares é necessária, de modo a propiciar maior eficiência amostral em campo e estimativas com maior grau de precisão e exatidão.

2 JUSTIFICATIVA

Os plantios florestais são áreas cultivadas com espécies cuja principal finalidade é a produção de madeira para fins comerciais. A árvore pode ser utilizada para a produção de produtos madeireiros e não-madeireiros.

O Brasil é um dos maiores produtores de florestas plantadas do mundo, com expressiva importância para o desenvolvimento econômico do país, utilizando os plantios florestais como seu insumo principal para indústrias que produzem papel, celulose, embalagens, carvão vegetal, móveis, cosméticos, dentre outros diversos produtos. Com a expansão constate desse setor, a utilização de florestas plantadas tem sido a forma mais eficiente de suprir a demanda por madeira de forma sustentável, contribuindo para a conservação das florestas nativas e da biodiversidade. Os sistemas agroflorestais são exemplos de plantios florestais que utilizam o solo cultivando, de forma conjunta, espécies florestais, agrícolas e pastagem para criação de animais.

Os sistemas agroflorestais fornecem uma série de benefícios ambientais, sociais e econômicos, tornando-se uma opção cada vez mais atraente para produtores e para a sociedade, pois proporcionam uma forma mais sustentável de produção, promovem a conservação do solo, a biodiversidade e a redução das emissões de gases de efeito estufa, além de melhorar a qualidade de vida das pessoas, gerando empregos. Para garantir que o sistema agroflorestal (SAF) esteja realmente alcançando os benefícios e os objetivos desejados pelos produtores, o seu monitoramento se torna necessário.

Monitorar um sistema agroflorestal é preciso em função das mudanças ocorrentes ao longo do tempo. Esse procedimento pode ajudar a identificar problemas, avaliar o seu desempenho e o impacto no meio ambiente. De forma geral, esse monitoramento é realizado por meio do inventário florestal.

Pela condução do inventário florestal, a obtenção de informações detalhadas sobre as características das florestas se torna possível, como espécies presentes, densidade, diâmetro, altura e volume das árvores, fornecendo, assim, informações essenciais para acompanhar o real desenvolvimento de determinada área. Para o levantamento amostral de informações detalhadas, os métodos de amostragem são comumente utilizados. Os métodos de amostragem podem ser de área fixa ou de área variável.

Dentre os métodos mencionados, o método de área fixa é o mais antigo e com maior aplicação em inventários florestais no Brasil. Nele, as árvores são selecionadas com probabilidade proporcional à área e à frequência de árvores que ocorrem em sua unidade

amostral. As unidades amostrais deste método são definidas por tamanho e forma, podendo ser encontradas inúmeras variações.

As características de um plantio florestal exercem influência direta na definição da forma e do tamanho das unidades amostrais, as quais estão relacionadas à precisão do inventário florestal. Existem várias formas de unidade amostrais, sendo as mais utilizadas as quadradas, circulares e retangulares.

O tamanho ideal de uma unidade amostral é definido de acordo com o objetivo do inventário e do povoamento florestal, com os custos do levantamento, com o erro de amostragem admissível e com as características da floresta. Quanto maior a unidade amostral maior sua probabilidade de representar a variabilidade da população dentro dela, porém, exigem maior tempo e custo para serem medidas. Em contrapartida, as unidades amostrais menores possuem menor variabilidade dentro dela, podendo haver perda de informações detalhadas sobre a população florestal.

O tamanho e a forma das unidades amostrais são de grande importância em condições específicas porque afetam diretamente a qualidade e a representatividade dos dados coletados em um inventário florestal. Quando o tamanho e a forma das unidades amostrais são definidos de maneira inadequada, pode ocorrer superestimação ou subestimação dos dados coletados, o que pode ocasionar erros na tomada de decisões.

Em geral, ao se determinar o tamanho da unidade amostral, alguns aspectos são importantes a serem considerados, como a variabilidade da floresta em termos de densidade, composição de espécies e características dendrométricas das árvores. Se o tamanho da unidade amostral for muito pequeno, pode não ser possível obter informações representativas da área amostrada. Por outro lado, se for muito grande, pode ser difícil estabelecer e monitorar a unidade, o que aumentaria o tempo e o custo do inventário. Como mencionado, a escolha da forma da unidade amostral pode afetar a precisão e a representatividade de informações coletadas.

Portanto, o estudo para determinar o tamanho e a forma das unidades amostrais para condições específicas são importantes para garantir que os inventários florestais sejam realizados de forma eficiente e adequada.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo geral definir a forma e o tamanho de unidades amostrais de área fixa em inventários florestais de um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.

3.2 Objetivos específicos

- Levantamento de informações por meio de um censo;
- Levantamento de informações por meio de amostragem utilizando unidades amostrais retangulares, variando sua área;
- Levantamento de informações por meio de amostragem utilizando unidades amostrais circulares, variando sua área;
- Avaliação da similaridade estatística entre estimativas populacionais obtidas no censo com aquelas obtidas pelos métodos amostrais;
- Análise da suficiência amostral para todas as variações amostrais;
- Análise da aderência das frequências do número de árvores por classes diamétricas dos métodos amostrais com aquela obtida pelo censo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área

A coleta dos dados foi realizada em um sistema agroflorestal, em um consórcio entre as espécies de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King), cedro australiano (*Toona ciliata* M.Roem.) e café (*Coffea arábica* L.), com área de 2,41 ha. O plantio do café foi estabelecido entre as plantas das espécies arbóreas, com um arranjo desuniforme. O espaçamento entre as linhas do plantio é de 3,0 m e irregular entre as espécies arbóreas e o café.

O sistema agroflorestal (SAF) foi implantado no município de Monte Carmelo, região do Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais, com coordenadas 18°43'43" S e 47°31'27" W (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima da região é do tipo Aw, com temperatura média anual de 20,7 °C e precipitação média anual de 1.569,1 mm (PRADO JÚNIOR et al., 2012), com predominância do solo latossolo vermelho.

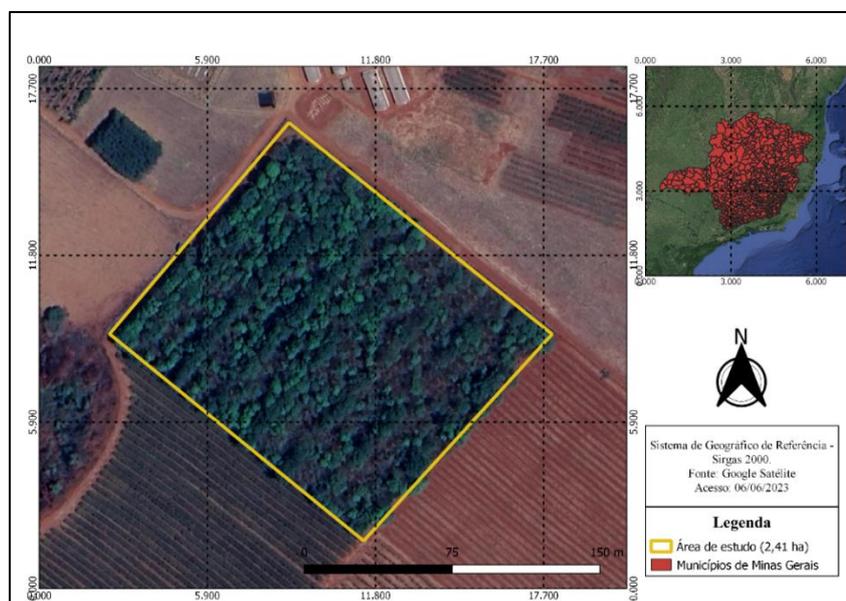


Figura 1. Área de localização do sistema agroflorestal objeto de estudo, no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

5.2 Censo

A primeira fase deste trabalho consistiu em realizar o censo florestal no plantio, o que permitiu a obtenção das variáveis desejadas do sistema agroflorestal. Nele, variáveis

dendrométricas foram mensuradas, sendo a circunferência à altura do peito (CAP) à 1,30 m de altura do solo e a altura total (h). A CAP, de todas as árvores presentes na área, foi mensurada e posteriormente convertida em diâmetro à altura do peito (d) pela expressão $d = CAP/\pi$.

A altura total (h) das árvores foi obtida utilizando-se um hipsômetro digital Haglof EC II. Essa medição foi realizada em uma a cada três linhas do plantio. Para as demais árvores, a altura foi estimada por meio de equação. A partir destas variáveis, o volume (v) das árvores foi calculado.

4.3 Amostragem

Posteriormente, a amostragem na área foi realizada, em que oito grupos de unidades amostrais circulares e retangulares foram estabelecidos. No caso de unidades amostrais retangulares, a altura (h) das árvores das duas primeiras linhas de cada unidade amostral foi medida indiretamente por hipsômetro digital. Para as unidades amostrais circulares, a altura (h) das oito árvores mais próximas ao ponto central das unidades amostrais também medidas indiretamente por hipsômetro digital. Assim como no censo, o diâmetro de todas as árvores foi medido.

Os grupos foram compostos por unidades amostrais de dimensões distintas (Tabela 1), abrangendo unidades amostrais de 100, 200, 300, 400, 500, 600 e 700 m², todas iniciando no mesmo ponto inicial e alocação interna, de modo que as unidades amostrais maiores englobassem as menores (Figura 2). Para as unidades amostrais retangulares, a relação entre o comprimento e largura (C/L) foi de 1,5, independente de sua área.

Tabela 1. Dimensões e áreas de unidades amostrais avaliadas em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais

Alternativa	Retangulares			Circulares	
	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m ²)	Raio (m)	Área (m ²)
1	21,60	32,40	700,00	14,93	700,00
2	20,00	30,00	600,00	13,82	600,00
3	18,26	27,39	500,00	12,62	500,00
4	16,33	24,49	400,00	11,28	400,00
5	14,14	21,21	300,00	9,77	300,00
6	11,55	17,32	200,00	7,98	200,00
7	8,16	12,25	100,00	5,64	100,00

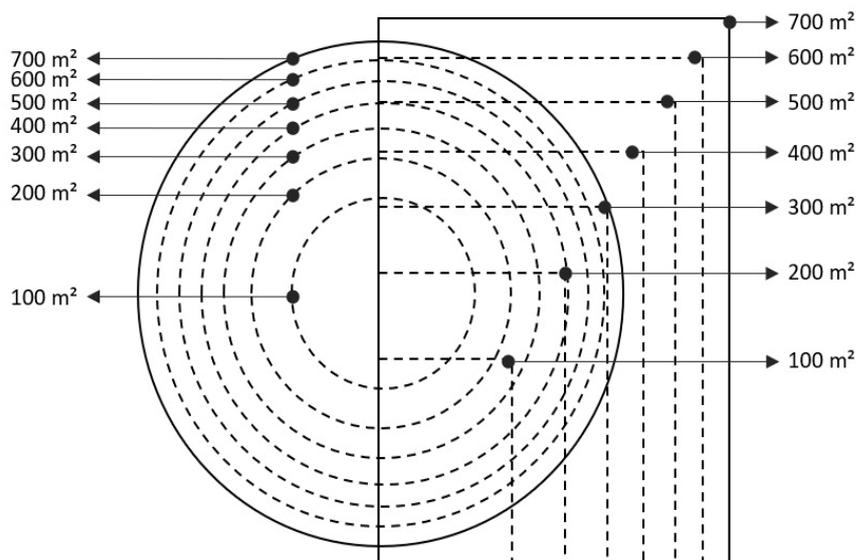


Figura 2. Esquema de grupo de unidades amostrais retangulares e circulares com diferentes áreas, distribuídos em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.

Os grupos de unidades amostrais foram alocados sistematicamente, abrangendo toda a população, considerando a distância entre vértices iniciais de aproximadamente 44 m no sentido da largura e 50 m no sentido do comprimento dessas unidades. As unidades amostrais circulares tiveram o ponto central na metade do comprimento inicial da unidade retangular de 700 m² (Figura 2). Esse ponto foi definido para possibilitar a distribuição de um número maior de grupos de unidades amostrais na área.

4.4 Obtenção de estimativas dendrométricas

4.4.1 Equações hipsométricas

Para obtenção da altura das árvores que não foram medidas em campo, equações hipsométricas foram utilizadas, baseadas no modelo parabólico $h = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon_1$, em que h é a altura total das árvores (m), dap é o diâmetro medido à 1,30 m do solo (cm), β_i são os parâmetros a serem estimados e ε_1 é o erro aleatório do modelo. O ajuste foi realizado de forma independente para cada espécie.

Para a avaliação do modelo estatístico, que foi o único utilizado na análise, foram observados critérios estatísticos específicos, o coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), o erro padrão da estimativa (Sy_x) e a análise gráfica da distribuição dos

resíduos. O coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) e erro padrão residual (S_{yx}) desempenham um papel essencial na seleção de um modelo estatístico para a descrição entre altura e diâmetro das árvores (PIRES; CALEGARIO, 2007).

4.4.2 Estimativas volumétricas

Na área deste estudo a cubagem não foi realizada. Assim, para a estimativa do volume individual das árvores de cedro e de mogno, utilizou-se uma equação volumétrica e um fator de forma. A equação utilizada para estimar o volume das árvores de cedro foi $V = 0,00006765 \times d^{2,164086} \times h^{0,528554}$ ($R^2 = 0,9891$), desenvolvida para um plantio com espaçamento inicial de 3,0 x 3,0 m, 6 anos, na região de Zona da Mata em Minas Gerais (ANDRADE et al., 2000). Para estimar o volume de mogno, o fator de forma de 0,39 foi utilizado, apresentado no estudo de Minini (2016), em um povoamento situado em Luziânia em Goiás, com 14 anos de idade e espaçamento de 4,15 x 6,00 m.

4.5 Variáveis analisadas

As variáveis analisadas neste estudo para cada configuração de unidade amostral foram as médias de diâmetro e altura total. Além disso, também foram analisados, por hectare, o número de árvores (N), área basal (G) e volume (V). A obtenção das estimativas por unidade de área se deu a partir do fator de proporcionalidade (F). Este fator é obtido pela razão entre a área de um hectare e a área da unidade amostral, ou seja, $F = A/a^{-1}$, em que “A” corresponde a área de 10.000 m² e “a” é a área da unidade amostral.

Após sua obtenção, este fator F foi multiplicado pelos respectivos valores obtidos por unidade amostral. O número de árvores (ni) foi obtido pela contagem das árvores inseridas na unidade amostral. A área basal e o volume por unidade amostral foram calculados pelo somatório das áreas transversais (g_i) e dos volumes (v_i) das árvores contidas na mesma, respectivamente. As expressões utilizadas para estimar essas variáveis por hectare foram:

$$N \cdot ha^{-1} = (\sum ni) \times F \qquad G \cdot ha^{-1} = (\sum g_i) \times F \qquad V \cdot ha^{-1} = (\sum v_i) \times F$$

Realizou-se análise de suficiência amostral considerando erro de amostragem de 10%, bem como obteve-se intervalo de confiança para o volume em cada configuração

amostral. Realizou-se ainda comparação gráfica da distribuição diamétrica em cada configuração amostral com aquela obtida pelo censo.

O coeficiente de variação (CV) foi analisado para a variável volume para as diferentes configurações amostrais. Também realizou teste-t pareado com o objetivo de analisar possíveis diferenças estatísticas entre as estimativas obtidas através do senso e cada uma das configurações amostrais. Essa análise foi realizada considerando nível de significância de 5%.

4.6 Distribuição diamétrica

A distribuição diamétrica para cada configuração de unidade amostral foi obtida. Essa análise possibilitou verificar o efeito da dimensão e da forma da unidade na descrição da estrutura do povoamento. Para isso, considerou-se a amplitude de classe de 4,0 cm.

Para analisar a aderência dessas distribuições diamétricas com aquela obtida pelos dados do censo, o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) foi aplicado. Esse teste avalia a diferença entre as funções de distribuição observada da amostra e da distribuição de referência (JORGE e EUFRADE JÚNIOR, 2023). O nível de significância utilizado foi de 1%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estatísticas descritivas

Os valores mínimos, médios, máximos e os coeficientes de variações (CV%) para diferentes formas e tamanhos de parcelas, para as variáveis diâmetro e altura, estão apresentados na Tabela 2. Os resultados indicaram que o diâmetro das árvores variou entre os diferentes tipos de levantamentos e de unidades amostrais. No censo, o diâmetro médio foi de 20,3 cm, com valores mínimos e máximos variando de 4,3 e 30,4 cm.

Tabela 2. Estatísticas descritivas das variáveis obtidas para um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais

Variável	Levantamento	Mínimo	Médio	Máximo	CV (%)	
Diâmetro	Censo	4,3	20,3	30,4	25,42	
	R100	8,6	19,7	23,8	23,88	
	R200	8,6	19,7	36,9	23,90	
	R300	8,6	19,7	36,9	23,85	
	R400	8,6	19,7	39,9	23,81	
	R500	8,6	19,7	39,9	23,75	
	R600	8,6	19,7	39,9	23,69	
	R700	8,6	19,6	39,9	23,68	
	C100	13,7	19,95	44,8	27,83	
	C200	9,1	19,94	44,8	27,84	
	C300	9,1	19,93	44,8	27,82	
	C400	9,1	19,93	44,8	27,83	
	C500	9,1	19,91	44,8	27,85	
	C600	9,1	19,91	44,8	27,92	
	C700	9,1	19,91	44,8	28,01	
	Altura	Censo	5,1	14,5	19,4	19,39
		R100	4,7	14,5	17,6	17,42
R200		4,7	14,5	18,6	17,32	
R300		4,7	14,5	18,7	17,19	
R400		4,7	14,5	19,6	17,05	
R500		4,0	14,5	19,6	16,94	
R600		4,0	14,5	19,6	17,37	
R700		4,0	14,5	19,6	17,37	
C100		5,7	14,7	21,1	15,04	
C200		4,7	14,7	21,1	15,06	
C300		4,7	14,7	21,1	14,96	
C400		4,7	14,7	21,1	14,86	
C500		4,7	14,7	21,1	14,79	
C600		4,7	14,7	21,1	14,74	
C700		4,7	14,7	21,1	14,70	

Em que: CV (%): coeficiente de variação percentual.

As unidades amostrais retangulares (R100 a R700) apresentaram médias de diâmetros próximas, de 19,6 cm a 19,7 cm, variando entre 8,6 cm e 36,9 cm, sendo o

maior valor de coeficiente de variação observado em R200 (Tabela 2). As unidades amostrais circulares (C100 a C700) apresentaram médias de diâmetros variando de 19,91 cm a 19,95 cm e coeficientes de variação oscilando de 27,82% a 28,01%.

Quanto à variável altura, no censo observou-se média de altura das árvores de 14,5 m, variando de 5,1 a 19,4 m. O coeficiente de variação (CV%) de 19,39%, também apresentou variação moderada nas medições. As unidades amostrais retangulares (R100 a R700) apresentaram médias de altura semelhantes, de 14,5 m, com coeficiente de variação entre 16,94% a 17,42%. As unidades amostrais circulares (C100 a C700) também apresentaram médias semelhantes, de 14,7 m. Os coeficientes de variação foi de 14,70% a 15,06%.

5.2 Modelagem hipsométrica

Os valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) e erro padrão da estimativa (S_{yx}), para as espécies de cedro e mogno, estão apresentados na Tabela 3. Para o cedro, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) foi de 0,7289. Batista et al. (2001) examinaram a relação hipsométrica em povoamento de *Eucaliptus grandis* com seis anos de idade no município de Anhembi, Estado de São Paulo, observando resultados semelhantes ao desse estudo para a espécie do cedro no modelo parabólico (0,78). Por outro lado, o erro padrão da estimativa (S_{yx}) para o cedro foi de 7,33%.

Resultados semelhantes a este modelo aplicado ao Cedro, foi observado no estudo de Sousa et al. (2013), sobre a relação hipsométrica para povoamentos de *Eucalyptus urophylla* sob alto fuste e talhadia aos cinco anos de idade numa fazenda do distrito de Pedroso pertencente ao município de Vitória da Conquista, Bahia.

Tabela 3. Coeficientes e estatísticas de avaliação do ajuste para o modelo hipsométrico para as espécies cedro e mogno, em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais

Espécies	β_0	β_1	β_2	R^2_{ajust}	S_{yx} (%)
Cedro	3,9722 ^{ns}	1,2252	-0,0232	0,7289	7,33
Mogno	-2,6821 ^{ns}	0,9740	-0,0124	0,5008	7,75

Em que: R^2_{ajust} : coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} (%): erro padrão da estimativa percentual; β_i : coeficientes de regressão; ns: coeficiente não significativo.

Para o mogno, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) foi de 0,5008, sugerindo eficácia inferior em comparação com o cedro (Tabela 2). Quanto ao erro

padrão (S_{yx}) para mogno, o valor obtido foi de 7,75%, indicando menor precisão em relação ao cedro.

Essas diferenças nos resultados podem estar associadas, dentre outros fatores, à diferença do número de árvores por espécie. Isso fica evidente na Figura 3, onde está apresentada a dispersão residual das estimativas de altura total. Conforme a dispersão dos resíduos, o modelo para ambas as espécies promoveu estimativas livres de tendências, independente do porte da árvore.

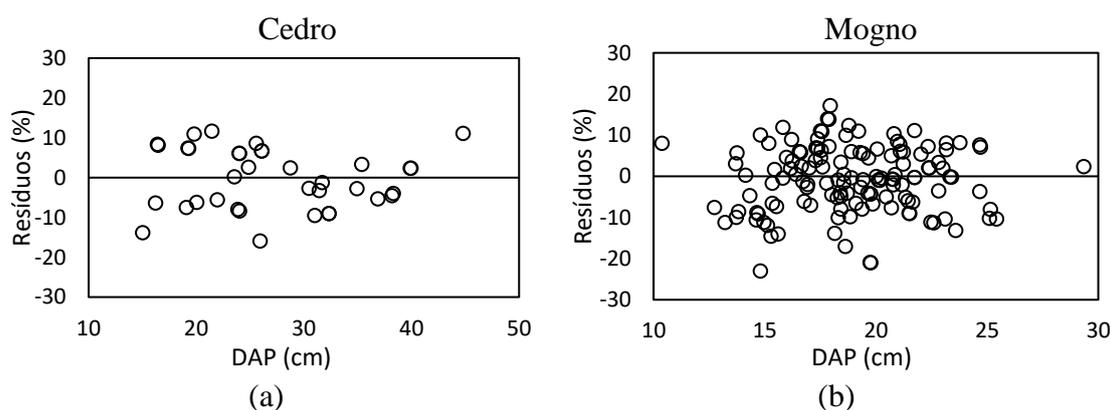


Figura 3. Dispersão dos resíduos para estimativa de altura total para cedro (a) e mogno (b), em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.

5.3 Estimativas de variáveis do povoamento

As estimativas para número de árvores (N), volume de árvores (V) e área basal (G), por hectare, para as unidades amostrais retangulares e circulares, bem como para o censo, estão apresentadas na Tabela 4. O censo revelou que o número de árvores ($N \text{ ha}^{-1}$) foi de 562. As estimativas obtidas das unidades amostrais retangulares, variaram de 525 a 663 árvores ha^{-1} . Isso sugere que a densidade de árvores pode variar consideravelmente em diferentes áreas das unidades amostrais. Nas unidades amostrais circulares, os valores oscilaram de 592 a 694 árvores ha^{-1} . Pela diferença entre as densidades registradas, as amostras retangulares mostram uma variação maior na densidade de árvores do que as amostras circulares. No entanto, a densidade registrada no censo está dentro da amplitude das amostras retangulares. Isso sugere que, embora haja uma variação mais ampla na densidade de árvores nas amostras retangulares, a densidade média do censo se enquadra dentro dessa variação, indicando que as mostras retangulares são capazes de capturar a variabilidade encontrada no censo.

Para área basal (G) por hectare, o censo registrou um valor de 19,43 m² ha⁻¹. Nas unidades amostrais retangulares, as estimativas variam de 14,76 a 20,99 m² ha⁻¹, enquanto nas circulares esses valores variaram de 18,82 a 24,72 m² ha⁻¹.

Tabela 4. Estimativas de número de árvores, área basal e volume, por hectare, para diferentes configurações amostrais em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais

		Retangulares						
Variável (ha)	Censo	R100	R200	R300	R400	R500	R600	R700
N	562	525	663	533	609	543	554	557
G	19,43	14,76	20,99	17,22	19,85	17,55	17,95	18,02
V	114,76	82,80	124,65	103,04	119,64	105,48	107,28	107,66
		Circulares						
Variável (ha)	Censo	C100	C200	C300	C400	C500	C600	C700
N	562	600	694	592	659	618	571	595
G	19,43	22,04	24,72	20,15	22,39	20,53	18,82	19,74
V	114,76	139,18	154,53	124,15	137,70	125,50	114,68	120,29

Quanto às estimativas de volume (V ha⁻¹), no censo o valor foi de 114,76 m³ ha⁻¹. Nas unidades amostrais retangulares, as estimativas variam de 82,80 a 124,65 m³ ha⁻¹, enquanto nas circulares variaram de 114,68 a 154,53 m³ ha⁻¹. Observa-se que as parcelas circulares exibiram maior variabilidade nas estimativas de volume em relação ao censo, com exceção para a área de 600 m². As formas retangulares, embora com certa variação, demonstraram menor variação e em relação ao censo.

As estimativas de N, G e V nas unidades amostrais circulares e retangulares podem diferir significativamente dos valores do censo (Figura 4). Ao observar os gráficos de estimativas de N em relação ao censo, nota-se que as estimativas das unidades retangulares variaram consideravelmente. É evidente que as menores áreas resultaram em estimativas menos precisas. No entanto, à medida que se aumentou a área, a diferença reduziu expressivamente. Para as formas circulares, independentemente da área, os valores foram superestimados.

As estimativas de G seguiram tendência similar àquela de N, para ambas as formas e tamanhos de unidades amostrais (Figura 4). Para as estimativas de V, nota-se uma variedade de resultados nas estimativas das formas retangulares, em que, assim como nas estimativas de G, as unidades amostrais de 100, 300, 500, 600 e 700 m² resultaram em estimativas menores que o censo, enquanto as áreas de 200 e 400 m² geraram estimativas

maiores. Para as formas circulares, apenas para a área de 600 m² observou-se valor menor do que aquele obtido no censo (Figura 4).

Em resumo, as estimativas nas unidades amostrais circulares tenderam a ser consistentemente maiores em relação ao censo para as variáveis N, G e V. No entanto, nas unidades amostrais retangulares, as estimativas foram mais variáveis, com algumas formas apresentando valores maiores e outras menores em relação ao censo (Figura 4).

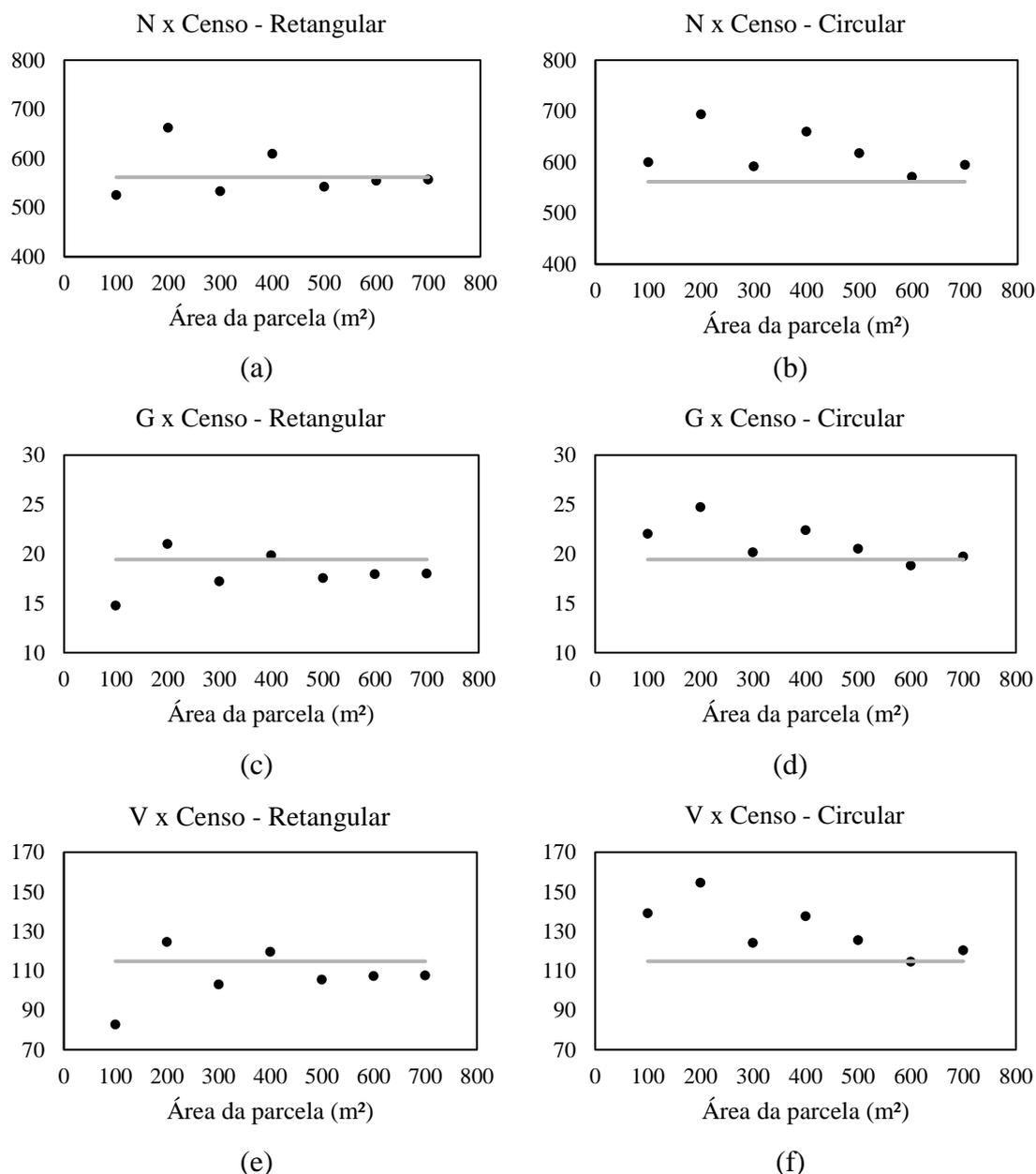


Figura 4. Estimativas de número de árvores (N), área basal (G) e volume (V), por hectare, para diferentes tamanhos de unidades amostrais, para as formas retangular (a, c, e) e circular (b, d, f), para um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.

As diferenças percentuais para N, G e V por hectare, em relação aos valores do censo, considerando as unidades amostrais retangulares e circulares, estão apresentadas na Tabela 5. Unidades amostrais com diferenças positivas indicam valor estimado inferior ao censo, enquanto diferenças negativas indicam valor estimado maior ao do censo.

Tabela 5. Diferença percentual dos valores estimados de número de árvores, área basal e volume, por hectare, em relação aos respectivos valores do censo, para as formas retangular e circular, para um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais

Retangulares							
Variável (ha)	R100	R200	R300	R400	R500	R600	R700
N	6,6%	-17,9%	5,1%	-8,5%	3,4%	1,4%	0,8%
G	24,1%	-8,0%	11,4%	-2,1%	9,7%	7,6%	7,3%
V	27,8%	-8,6%	10,2%	-4,3%	8,1%	6,5%	6,2%
Circulares							
Variável (ha)	C100	C200	C300	C400	C500	C600	C700
N	-6,8%	-23,5%	-5,3%	-17,4%	-9,9%	-1,6%	-5,8%
G	-13,4%	-27,2%	-3,7%	-15,2%	-5,7%	3,2%	-1,6%
V	-21,3%	-34,7%	-8,2%	-20,0%	-9,4%	0,1%	-4,8%

Para o número de árvores ($N \text{ ha}^{-1}$), as diferenças percentuais variaram de -17,9% a 6,6% em relação ao censo para as unidades amostrais retangulares (Tabela 5). Essa variação indica claramente que, nas unidades amostrais retangulares de 100, 300, 500, 600 e 700 m^2 , N foi menor em relação ao censo, enquanto nas retangulares de 200 e 400 m^2 tendeu a ser maior. Por outro lado, nas unidades circulares, esses valores variaram de -23,5% a -1,6%, indicando que o número de árvores nessas formas tendeu a ser maiores que a registrado no censo.

No que diz respeito a área basal ($G \text{ ha}^{-1}$), as diferenças percentuais variaram de -8,0% a 24,1% para as unidades retangulares (Tabela 5). Neste contexto, observou-se padrão semelhantes ao de N, onde as unidades amostrais retangulares de 100, 300, 500, 600 e 700 m^2 resultaram em porcentagem positivas, enquanto nas áreas de 200 e 400 m^2 os percentuais foram negativos. Para as unidades circulares, as diferenças percentuais variam de -27,2% a 3,2%, onde as unidades amostrais circulares de 100, 200, 300, 400, 500 e 700 m^2 mostram diferenças maiores em relação ao censo, enquanto a retangular de 600 m^2 apresenta uma área basal maior.

Em relação ao volume, as diferenças percentuais variaram de -8,6% a 27,8% para as parcelas retangulares, onde é possível observar que mesmas unidades amostrais que mostraram diferenças inferiores e superiores em N e G também exibiram valores

correspondentes em relação ao censo (Tabela 5). Para as parcelas circulares, as diferenças percentuais variaram de -34,7% a 0,1%, cuja áreas de 100, 200, 300, 400, 500 e 700 m² novamente apresentando diferenças maiores em relação ao censo, enquanto na de 600 m² exibindo volume menor.

As comparações mostraram que as estimativas de N, G e V nas parcelas circulares e retangulares podem diferir expressivamente dos valores do censo para algumas configurações amostrais. Ao se comparar as unidades amostrais circulares e retangulares, em geral, as estimativas das primeiras tenderam a apresentar diferenças percentuais menores em relação ao censo.

5.4 Similaridade estatística de estimativas de variáveis do povoamento

Os resultados do teste t pareado e os respectivos p-valores para as comparações entre as unidades amostrais retangulares e circulares, para as variáveis N, G e V em diferentes tamanhos, estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Análise da similaridade estatística das estimativas de número de árvores, área basal e volume, por hectare, com os respectivos valores do censo, para as formas retangular e circular, para um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais

Variável (ha)	Área (m ²)	Retangulares		Circulares	
		p-valor	Teste t	p-valor	Teste t
N	100	0,400966	0,894 ^{ns}	0,281708	1,166 ^{ns}
	200	0,006482	3,827*	0,000297	6,628*
	300	0,058201	2,262 ^{ns}	0,088768	1,976 ^{ns}
	400	0,000617	5,872*	0,000063	8,473*
	500	0,045604	2,427*	0,001978	4,795*
	600	0,732584	0,356 ^{ns}	0,58339	0,575 ^{ns}
	700	0,533027	0,656 ^{ns}	0,013941	3,256*
G	100	0,004879	4,049*	0,196327	1,428 ^{ns}
	200	0,407015	0,882 ^{ns}	0,000268	6,736*
	300	0,018699	3,046*	0,251902	1,249 ^{ns}
	400	0,261367	1,222 ^{ns}	0,000045	8,940*
	500	0,002257	4,681*	0,00489	4,047*
	600	0,087719	1,984 ^{ns}	0,265834	1,209 ^{ns}
	700	0,001938	4,812*	0,398239	0,900 ^{ns}
V	100	0,002870	4,479*	0,095681	1,925 ^{ns}
	200	0,441399	0,816 ^{ns}	0,000527	6,028*
	300	0,052300	2,334 ^{ns}	0,092836	1,945 ^{ns}
	400	0,127703	1,728 ^{ns}	0,0000338	9,328*
	500	0,021638	2,942*	0,001588	4,987*
	600	0,156590	1,587 ^{ns}	0,983047	0,022 ^{ns}
	700	0,020138	2,993*	0,063036	2,207 ^{ns}

ns: coeficiente não significativo e *: coeficiente significativo.

Para o número de árvores ($N \text{ ha}^{-1}$), nas áreas retangulares de 100, 300, 600 e 700 m^2 e circulares de 100, 300 e 600 m^2 não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas em relação ao censo. Entretanto, para as áreas retangulares de 200, 400 e 500 m^2 e circulares de 200, 400, 500 e 700 m^2 , as diferenças foram estatisticamente significativas do censo.

No que diz respeito a área basal (G), os resultados também indicaram variações na representatividade das estimativas amostrais em relação ao censo com base na forma e no tamanho da área. Para as áreas retangulares de 200, 400, e 600 m^2 e circulares 100, 300, 600 e 700 m^2 não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas nas unidades amostrais (Tabela 6). Nas áreas retangulares de 100, 300, 500 e 700 m^2 , as diferenças foram estatisticamente significativas. As unidades amostrais circulares tenderam a mostrar diferenças estatisticamente significativas nas áreas de 200, 400 e 500 m^2 .

A análise de similaridade estatística para o volume ($V \text{ ha}^{-1}$) revelou padrões semelhantes aos encontrados para o número de árvores e área basal. Para as formas retangulares de 200, 300, 400 e 600 m^2 e circulares de 100, 300, 600 e 700 m^2 não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas (Tabela 6). Nas formas retangulares de 100, 500 e 700 m^2 e circulares de 200, 400 e 500 m^2 , ocorreram diferenças estatisticamente significativas.

Em resumo, configurações amostrais em que os resultados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, as estimativas amostrais podem ser consideradas consistentes aos dados do censo, sugerindo que ambas as formas e tamanho de parcelas são igualmente representativas em relação a N , G e V . Entretanto, quando se encontra diferenças estatisticamente significativas, isso sugere que essas áreas não são igualmente representativas em relação ao censo quando se trata de estimar essas variáveis.

Com base nos resultados da análise do teste t , a escolha entre unidades amostrais retangulares e circulares depende do seu tamanho e da variável específica em consideração. Em geral, as unidades circulares mostraram-se mais representativas em relação ao censo em diversos tamanhos de áreas e variáveis, destacando-se especialmente em relação a variável G e V .

Com base nos resultados dos testes estatísticos para as formas retangulares e circulares em diferentes tamanhos de área (m^2), pode-se observar que o tamanho de 300 m^2 para a variável N para ambas as formas apresentou resultados melhores, com p -valores baixos e teste t elevados, indicando uma precisão estatística precisa para a variável em

questão. Além disso, para a variável G, para a área circular, o tamanho de 300 m² também se destaca como o mais eficaz, enquanto para a forma retangular, a área de 600 m² foi a que se mostrou melhor. Enquanto para a variável V, a área de 300 m² novamente demonstra resultados precisos na forma retangular, por outro lado, na forma circular, a área de 700 m² surge como a mais apropriada. Entre as áreas mencionadas anteriormente, a que se destaca como a mais eficiente é a de 300 m². Essa escolha não apenas oferece os melhores resultados estatísticos, mas também representa uma opção que pode reduzir significativamente os custos e o tempo necessários para realização do inventário florestal.

5.5 Análise do intervalo de confiança e suficiência amostral para o volume

A média do volume (m³ ha⁻¹), erro de amostragem e tamanho amostral, para cada tamanho e forma de unidade amostral, estão apresentados na Tabela 7. As médias das unidades amostrais retangulares variaram de 82,80 a 124,65 m³ ha⁻¹. Nas unidades amostrais circulares, as médias variaram de 114,68 a 154,53 m³ ha⁻¹. O volume médio obtido no censo foi de 114,76 m³ ha⁻¹.

Tabela 7. Média volumétrica, erro de amostragem relativo e tamanho de amostral ideal para diferentes formas e tamanhos de unidades amostrais, para um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais

Área (m ²)	Retangulares			Circulares		
	Média (m ³ /ha)	Er (%)	n ideal	Média (m ³ /ha)	Er (%)	n ideal
100	82,80	20,03	23	139,18	21,20	26
200	124,65	22,22	26	154,53	9,75	8
300	103,04	10,93	9	124,15	8,72	7
400	119,64	5,20	8	137,70	3,93	3
500	105,48	6,46	7	125,50	3,71	4
600	107,28	9,30	8	114,68	6,60	6
700	107,66	4,56	6	120,29	4,32	3

Em que: Er (%): erro de amostragem relativo; n ideal: número de unidades amostrais necessárias para uma precisão preestabelecida (10%).

Em termos de precisão, avaliada pelo erro de amostragem, para as unidades amostrais retangulares, o erro relativo menor de 10% foi obtido a partir de 400 m², sendo as unidades amostrais de 400 e 700 m² as que apresentaram menor erro de amostragem (Tabela 7). Para as unidades amostrais circulares, as que apresentaram erro relativo menor que 10% foram aquelas a partir de 200 m², em que as unidades amostrais de 400 e 500 m² as que promoveram menor erro de amostragem. Em comparação da forma da unidade amostral, mantendo-se a área, as formas circulares geraram os menores valores de erro de

amostragem, ou seja, apresentaram maior precisão das estimativas, com exceção do tamanho de 100 m², porém, apresentando-se próximos (Tabela 7).

Na análise da suficiência amostral, observa-se que o número ideal de unidades amostrais variou consideravelmente de acordo com o tamanho da área e a forma da unidade amostral (Tabela 7). Para formas retangulares, esse valor variou de 6 a 26, indicando que o número de parcelas necessárias para alcançar a precisão desejada aumentou expressivamente para áreas menores (100 e 200 m²) e diminuiu em áreas maiores (400 m² em diante). Para as formas circulares, o tamanho amostral ideal variou de 3 a 26 unidades amostrais, com tendência semelhante de diminuição do número de parcelas necessárias em áreas maiores. Tendência similar é apresentada em Jorge e Eufrade Júnior (2023).

Em geral, menores tamanhos tendem a exigir alocação de mais unidades amostrais para alcançar a precisão desejada, enquanto áreas maiores podem atingir a precisão com número menor de unidades amostrais, essencial para otimizar os recursos de campo.

Para sistema agroflorestal de mogno brasileiro, cedro australiano e café, não foram encontrados estudos que abordassem a comparação entre tamanho e forma das unidades amostrais em relação à precisão e exatidão. No entanto, trabalhos com finalidades semelhantes foram conduzidos em plantios florestais com outras espécies, como o estudo de tamanho e forma de parcelas para inventários florestais de volume de madeira e estoque de carbono e espécies arbóreas da Amazônia Central realizado por Oliveira et al. (2010), como também no estudo sobre tamanho ótimo de parcelas experimentais para *Eucalyptus saligna* Smith em dois estágios de desenvolvimento realizado por Zanon e Storck (2000) e o estudo sobre tamanho e forma da unidade amostral para quantificação da serapilheira em fragmento de floresta estacional subtropical feito por Lorentz et al. (2015).

Os coeficientes de variação (CV%) para unidades amostrais retangulares e circulares também foram apresentados neste trabalho para as diferentes áreas, apresentados nas Figura 5. Em áreas menores, os CV% foram mais elevados, tanto para unidades amostrais retangulares como nas circulares. À medida que as áreas das unidades amostrais aumentaram, os CV% diminuíram, indicando maior precisão. Em geral, as unidades circulares exibiram CV% ligeiramente mais baixos em comparação com as unidades retangulares para vários tamanhos.

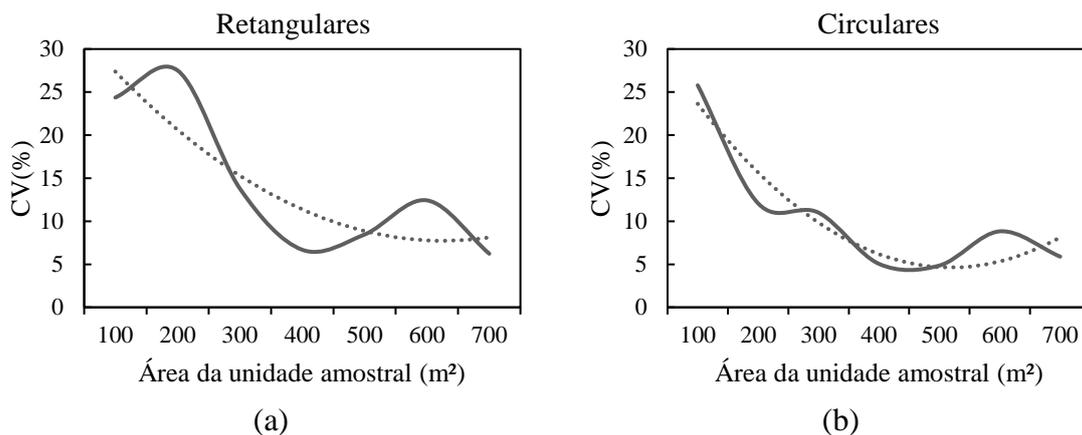


Figura 5. Tendência do coeficiente de variação para diferentes tamanhos e formas de unidades amostrais, em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.

Analisando a tendência do coeficiente de variação (linha pontilhada), verifica-se que a estabilização se deu próxima a 500 m² e a 400 m², para as unidades amostrais retangulares e circulares, respectivamente (Figura 5). Isso indica que, a partir dessas áreas, o aumento do tamanho pode não resultar em ganhos em precisão das estimativas.

Conforme observado no estudo, o aumento do tamanho das unidades amostrais resultou em uma diminuição progressiva do coeficiente de variação. De acordo com Jorge e Eufrade Júnior (2023), unidades amostrais menores tendem a resultar coeficientes de variação mais elevados, tornando, assim, unidades amostrais maiores uma preferência. Essa observação confirma a maior precisão encontrada nas unidades amostrais retangulares de 400 e 700 m² e de 400 e 500 m² das unidades amostrais circulares, devido à alta heterogeneidade da área de estudo, com grande variabilidade de diâmetro à altura do peito (DAP).

Resultados semelhantes foram encontrados por Miranda et al. (2015), no estudo sobre tamanho e forma de unidades amostrais de área fixa em plantios de teca no norte de Mato Grosso. Além disso, Sanquetta et al. (2023) afirmam que unidades amostrais com tamanhos entre 400 e 600 m² tendem a ser mais eficientes e precisas. No presente estudo, a parcela circular de 500 m² demonstrou ser a mais precisa.

Na Figura 6 estão apresentados os intervalos de confiança para cada configuração amostral em comparação com a média obtida no censo. Em unidades amostrais retangulares de 100 m², a média de volume (82,80 m³ ha⁻¹) foi expressivamente inferior ao do censo, o que sugere uma subestimação do volume. Isso pode ser devido ao tamanho reduzido da área de amostragem, refletindo em uma representação inadequada da

heterogeneidade do plantio florestal. Para este tamanho e forma, o intervalo de confiança não compreendeu o valor paramétrico.

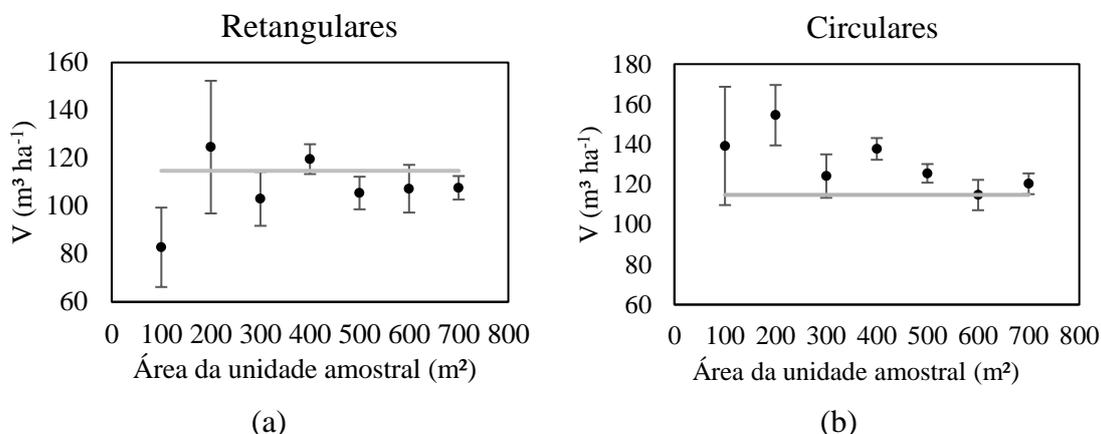


Figura 6. Estimativas de volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) e respectivos intervalos de confiança para diferentes tamanhos e formas de unidades amostrais, em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.

À medida que o tamanho da unidade amostral aumentou, houve maior proximidade das estimativas de volume com aquela do censo. Isso indica que, em tamanhos maiores (a partir de 400 m^2), as unidades retangulares tenderam a fornecer estimativas mais consistentes com o censo.

Nas unidades circulares, a área de 100 m^2 apresentou média de volume ($139,18 \text{ m}^2$) expressivamente acima do valor do censo, sugerindo superestimação desta variável. Como nas unidades retangulares, à medida que o tamanho da unidade aumentou, as médias de volume também se aproximaram ao valor do censo. Isso sugere que o tamanho da área amostrada influencia a precisão das estimativas de volume, independentemente da forma da unidade amostral.

Dentre outros aspectos, é importante destacar que este tipo de análise permite verificar a capacidade de o intervalo de confiança compreender a média paramétrica da população. Associado a uma determinada probabilidade, espera-se que este intervalo seja capaz de compreender a verdadeira média de uma população. Contudo, essa análise permitiu constatar que, em casos de alta precisão das estimativas por unidade amostral e cuja média seja próxima do valor paramétrico, o intervalo de confiança pode não compreender essa média, pois será pequeno.

Além disso, permitiu verificar que, em alguns casos, mesmo que o intervalo de confiança compreenda a média paramétrica, a média estimada pode estar

expressivamente distante dessa. Neste último caso, a média paramétrica pode ser abrangida pelo intervalo de confiança devido meramente a este ser muito grande, reflexo de baixa precisão dos valores de volume. Isso ressalta a importância de se estabelecer uma estrutura amostral adequada, de forma a compreender toda a variabilidade da população com intensidade amostral suficiente. Portanto, o inventário florestal com erro de amostragem baixo pode promover diferenças substanciais sem a observância destes fatores.

5.6 Distribuição diamétrica

As distribuições diamétricas para as unidades amostrais retangulares e circulares estão apresentados nas Figuras 7 e 8. A análise do diâmetro à altura do peito (d) das árvores mensuradas neste inventário demonstra que os valores mínimo e máximo de diâmetro foram 4,3 e 44,3 cm, respectivamente. Desta forma, os diâmetros dos fustes foram distribuídos com amplitude de classe de 4,0 cm.

As distribuições diamétricas para as unidades amostrais retangulares e circulares revelou que a classe de diâmetro de 16 a 20 cm foi a mais proeminente em todas as configurações amostrais, incluindo o censo. Isso indica que a maioria das árvores pertence a essa faixa de diâmetro. Essa observação é consistente em todas as configurações, independente da forma da área amostral.

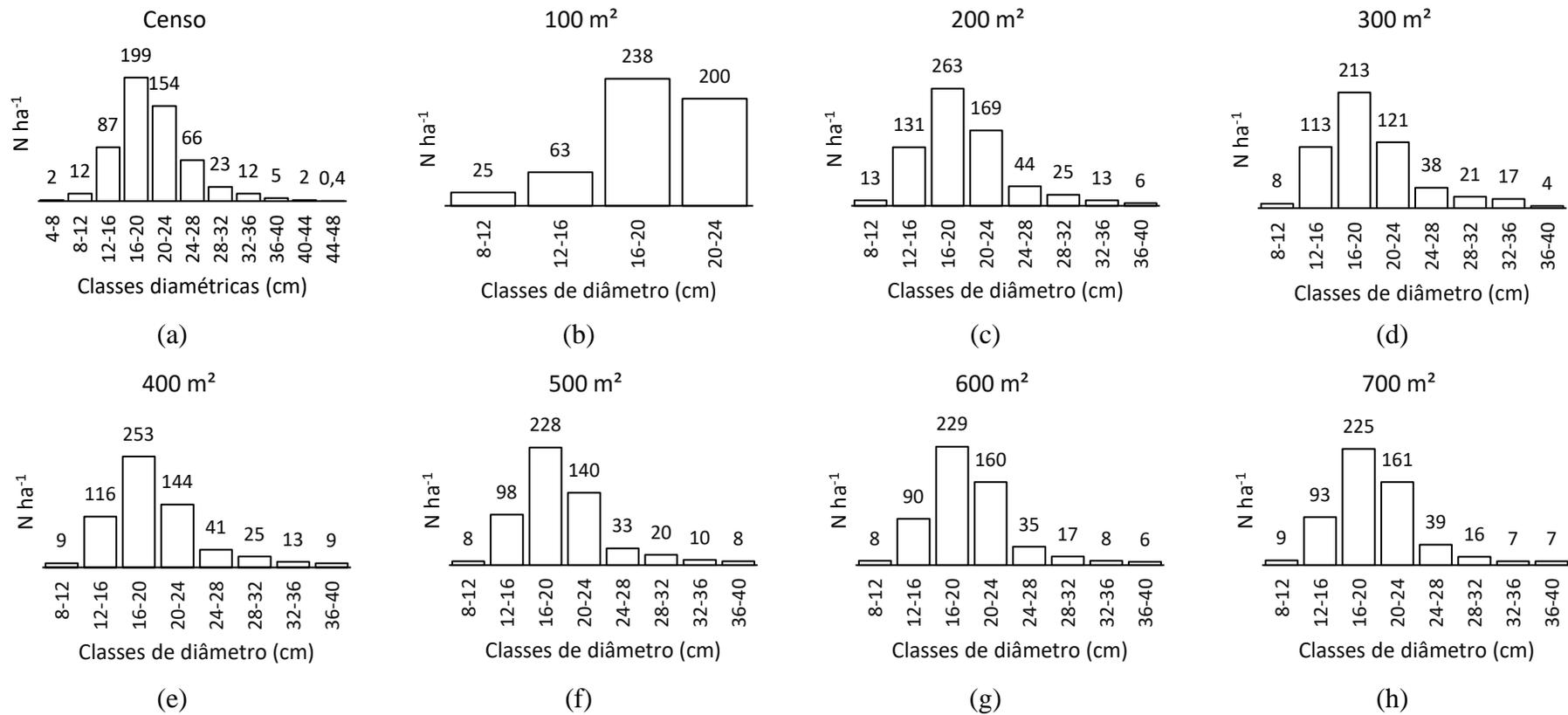


Figura 7. Distribuições diamétricas com os dados do censo (a) e para unidades amostrais retangulares de tamanhos de 100 m² (b), 200 m² (c), 300 m² (d), 400 m² (e), 500 m² (f), 600 m² (g) e 700 m² (h), em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.

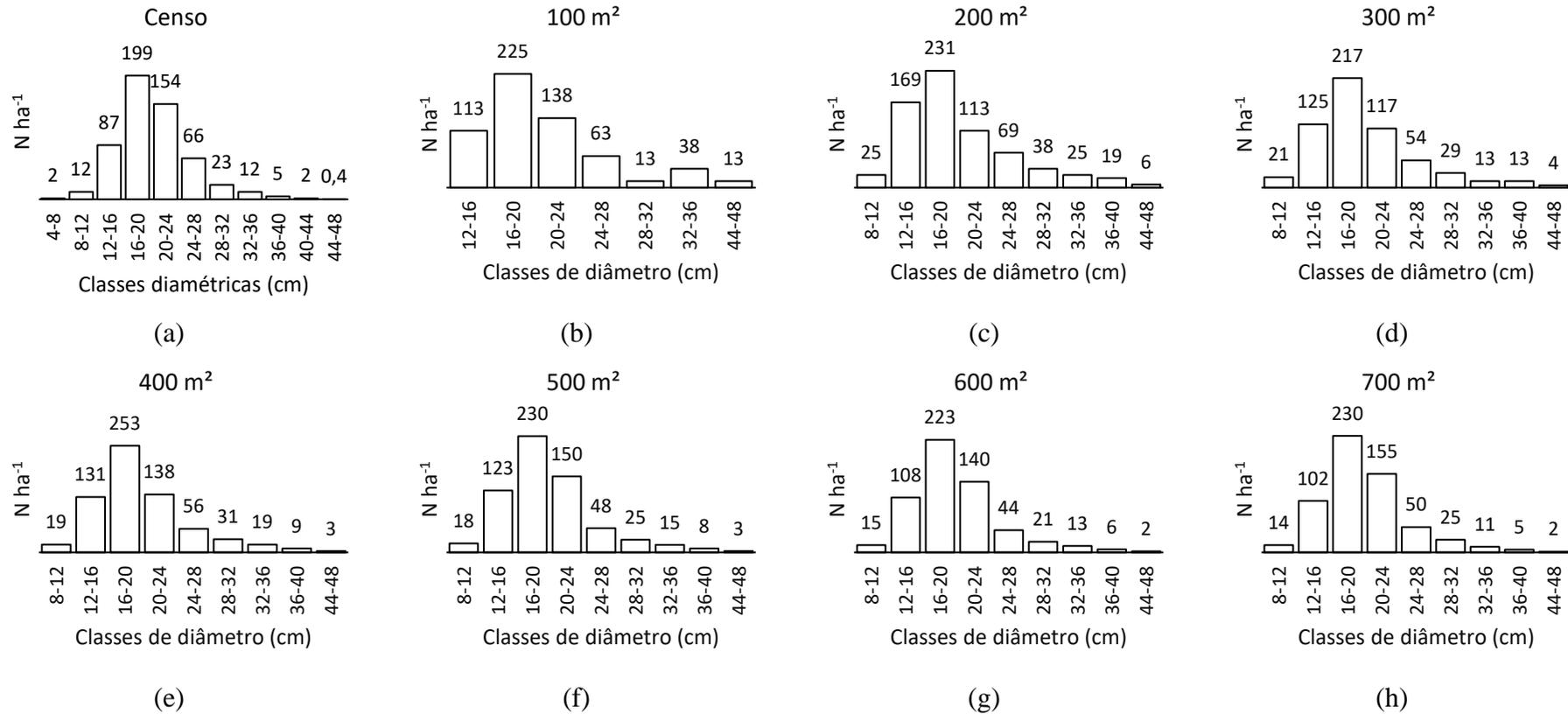


Figura 8. Distribuições diamétricas com os dados do censo (a) e para unidades amostrais circulares de tamanhos de 100 m² (b), 200 m² (c), 300 m² (d), 400 m² (e), 500 m² (f), 600 m² (g) e 700 m² (h), em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.

Independente da forma da unidade amostral, é esperado que quanto maior o tamanho desta unidade, mais representativa será a distribuição diamétrica, abrangendo os limites mínimos e máximos de diâmetro do plantio florestal. Para as unidades retangulares (Figura 7), nenhum tamanho foi capaz de contemplar diâmetros extremos na distribuição do censo. Em contrapartida, todos os tamanhos das unidades circulares (Figura 8) foram capazes de amostrar árvores situadas nas maiores classes diamétricas, não sendo observado o mesmo para diâmetros inferiores.

Embora as distribuições se apresentem visualmente similares aquela do censo, sobretudo a partir de 200 m², torna-se necessária a aplicação de um teste estatístico para avaliar a aderência destas distribuições. Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) (Tabela 8) indicaram que, para as unidades amostrais de forma retangular, as distribuições foram aderentes àquela do censo para as áreas a partir de 300 m², exceto para a área de 400 m².

Tabela 8. Análise da aderência das distribuições diamétricas para diferentes tamanhos e formas de unidades amostrais, em um sistema agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais

Forma	Área (m ²)	D _{calc}	Forma	Área (m ²)	D _{calc}
Retangular	100	0,1272*	Circular	100	0,0716*
	200	0,2162*		200	0,2356*
	300	0,0593 ^{ns}		300	0,1112*
	400	0,1391*		400	0,1836*
	500	0,0578 ^{ns}		500	0,1246*
	600	0,0605 ^{ns}		600	0,0816*
	700	0,0605 ^{ns}		700	0,0859*

ns: coeficiente não significativo e *: coeficiente significativo.

Por outro lado, para as unidades amostrais circulares, o teste KS foi significativo para todas as áreas avaliadas. Isso indicou que a forma circular foi ineficiente em representar a distribuição diamétrica do plantio florestal, independentemente do tamanho avaliado.

6 CONCLUSÕES

- A área de 300 m² se mostrou eficiente para estimar o número de árvores (N), tanto para a forma circular como para a forma retangular.
- Para estimar área basal (G), na configuração circular, o tamanho de 300 m² destacou-se como o mais eficaz, e na configuração retangular, a área de 600 m² demonstrou ser a mais eficiente.
- Quanto ao volume (V), mais uma vez, a área de 300 m² revelou resultados precisos. Em contrapartida, na configuração circular, a área de 700 m² emergiu como a mais apropriada.
- Na análise da suficiência amostral, unidades amostrais com áreas menores exigiram maior intensidade amostral para serem precisas, enquanto unidades com áreas maiores puderam alcançar a mesma precisão com menor intensidade amostral.
- Dentre as configurações amostrais estudadas, em unidades amostrais retangulares, as distribuições diamétricas foram representativas do censo a partir de 300 m², exceto a área de 400 m². Entretanto, nenhum tamanho das unidades amostrais circulares foi capaz de representar essa distribuição.

7 REFERÊNCIAS

AMADOR, D. B.; VIANA, V. M. **Sistemas agroflorestais para recuperação de fragmentos florestais**. 32. ed. Piracicaba: Ipef, 1998. 6 p.

ANDRADE, V. C. L.; LEITE, H. G.; FRANCO, F. S. Equação de razão volumétrica para cedro (*Toona ciliata* var. *australis*) em sistema agroflorestal na zona da mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, n.24, v.4, p.385-388, 2000.

BATISTA, J. L.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. **Scientia Forestalis**. n. 60, p. 149-163, dez. 2001.

FARIAS, C. A.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G. Comparação de métodos de amostragem para análise estrutural de florestas inequiâneas. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 541-548, out. 2002.

JORGE, L. A. B.; EUFRADE JUNIOR, H. J. **Dendrometria e Inventário Florestal com Aplicações em R**. 1. ed. Botucatu: Ed. dos Autores, 2023. 178 p.

LORENTZ, L. H.; VOGEL, H. L. M.; BOLIGON, A. A.; PEREIRA, C. A.; PEREIRA, M. A. Tamanho e forma da unidade amostral para quantificação da serapilheira em fragmento de floresta estacional subtropical. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 39, n. 3, p. 513-521, jun. 2015.

LUNZ, A. M. P.; BERNARDES, M. S.; RIGHI, C. A.; COSTA, J. D.; FAVARIN, J. L.; CORTEZ, J. G. **Qualidade do café arábica em sistema agroflorestal de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) e em monocultivo**. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (4.: Londrina, PR: 2005). Anais. Brasília, D.F.: Embrapa - Café, 2005.

MININI, D. **Qualidade da madeira de mogno brasileiro proveniente de plantios homogêneos para a produção de serrados**. Monografia (33p.). Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

MIRANDA, D. L. C.; SANDER, A.; GOUVEIA, D. M. Tamanho e forma de parcelas de área fixa em plantios de teca no norte de Mato Grosso. **Nativa**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 89-94, 25 jun. 2015.

MORAIS FILHO, A. D.; BRAVO, C. V.; ROQUE, R. A. M.; ANDRADE, W. F.; **Utilização de métodos estatísticos em inventário florestal**. Seminário apresentado à disciplina estatística experimental. USP/ESALQ, Departamento de Ciências Exatas, Piracicaba, 2003.

MOSCOVICH, F. A.; BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Comparação de diferentes métodos de amostragem, de área fixa e variável, em uma floresta de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 173-191, 30 mar. 1999. Universidade Federal de Santa Maria.

MÜLLER, J. S. **Sistemas agroflorestais com café (*Coffea arabica* L.) e cedro australiano (*Toona ciliata* m. Roem. Var. *australis* (f. Muell.) Bahadur) na zona da**

mata de Minas Gerais: estudo de caso. 2004. 61 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

OLIVEIRA, M. M. de. **Tamanho e forma de parcelas para inventários florestais de volume de madeira e estoque de carbono e espécies arbóreas da Amazônia Central.** 2010. 73 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2010.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal.** Curitiba: Editado pelos Autores, 1997. 28 p.

PIRES, L. M.; CALEGARIO, N. Ajuste de modelos estocásticos lineares e não-lineares para a descrição do perfil longitudinal de árvores. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 845-852, out. 2007.

PRADO JÚNIOR, J. A. et al. Fitossociologia, caracterização sucessional e síndromes de dispersão da comunidade arbórea de remanescente urbano de Floresta Estacional Semidecidual em Monte Carmelo, Minas Gerais. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 63, p.489-499, 07 maio 2012.

SÁ, V. A. de. **Potencial da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) na manufatura de produtos de maior valor agregado.** 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; DALLA CÔRTE, A. P.; RODRIGUES, A. L. **Inventários florestais: planejamento e execução.** Curitiba: Ed. Pelos Autores, 2023.

SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; BARRETO, P. A. B.; JÚNIOR, V. C. Relações hipsométricas para *Eucalyptus urophylla* conduzidos sob regime de alto fuste e talhadia no Sudoeste da Bahia. **Scientia Plena**, vol. 9, n. 4.p 1-7, 2013.

ZANON, M. L. B.; STORCK, L. Tamanho ótimo de parcelas experimentais para *Eucalyptus saligna* Smith em dois estágios de desenvolvimento. **Cerne**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 104-111, 2000.