

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
MINAS GERAIS -*CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA BACHARELADO EM  
ENGENHARIA FLORESTAL

Heloisia Brenda Xavier Rodrigues

**MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL NA DEFINIÇÃO DO VOLUME MÉDIO E  
FATOR DE FORMA EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO**

São João Evangelista  
2023

HELOISA BRENDA XAVIER RODRIGUES

**MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL NA DEFINIÇÃO DO VOLUME MÉDIO E  
FATOR DE FORMA EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Florestal.  
Orientador: Bruno Oliveira Lafetá.

São João Evangelista  
2023

---

R696m Rodrigues, Heloisa Brenda Xavier.  
Medidas de tendência central na definição do volume médio e  
fator de forma em povoamentos de eucalipto / Heloisa Brenda Xavier  
Rodrigues – 2024.  
27f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá.  
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Engenharia  
Florestal) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João  
Evangelista, 2024.

1. Altura. 2. Diâmetro. 3. Fator de forma. 4. Medidas de posição. I.  
Rodrigues, Heloisa Brenda Xavier. II. Instituto Federal de Minas  
Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 634.973766

---

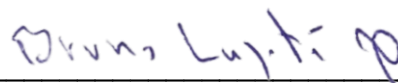
Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/MG-003372/P

Heloisa Brenda Xavier Rodrigues

**MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL NA DEFINIÇÃO DO VOLUME MÉDIO E FATOR DE FORMA EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em: 20 / 12 / 2023 pela banca examinadora:




---

Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá - IFMG (Orientador)



---

Prof. Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan – IFMG



---

Prof. Dr. Diego dos Santos Vieira - UFVJM

## RESUMO

Investigações científicas que buscam melhorias operacionais em inventários contribuem para a assertividade da quantificação de recursos madeireiros e eficiência da gestão florestal. O objetivo do presente trabalho foi avaliar diferentes medidas de posição na definição do volume médio individual e fator de forma médio em povoamentos de eucalipto. O inventário contínuo foi conduzido em quatro unidades de manejo florestal, sendo lançadas 34 parcelas permanentes. Avaliaram-se oito critérios para a definição de fustes representativos do volume médio individual e do fator de forma médio, com base em medidas dendrométricas de tendência central. O diâmetro médio quadrático proporcionou distribuições homogêneas e com os menores erros percentuais para a estimativa volumétrica e de forma dos fustes. Conclui-se que fustes com diâmetro médio quadrático são úteis para representar o volume médio individual e o fator de forma médio em unidades de manejo florestal. Além disso, estimativas volumétricas por unidade de área podem ser obtidas com precisão ao se empregar abordagens baseadas no volume médio individual e, em especial, no fator de forma. Medidas de tendência central baseadas em altura tendem a fornecer estimativas volumétricas menos acuradas em comparação àquelas com base no diâmetro de fustes.

**Palavras-chave:** Altura; Diâmetro; Fator de forma; Medidas de posição.

## **ABSTRACT**

Scientific investigations that seek operational improvements in inventories contribute to the accuracy of timber resource quantification and efficiency of forest management. This work aimed to evaluate different position measurements in defining the average individual volume and average form factor in eucalypt stands. Continuous inventory was conducted in four forest management units, with 34 permanent plots. Eight criteria were evaluated to define stems representative of the average individual volume and average form factor, based on dendrometric measurements of central tendency. Quadratic mean diameter provided homogeneous distributions and the lowest percentage errors for volumetric and form estimation of stems. It is concluded that stems with quadratic mean diameter are useful for representing the average individual volume and the average form factor in forest management units. Furthermore, volumetric estimates per unit area can be accurately obtained by employing approaches based on individual average volume and, in particular, form factor. Measures of central tendency based on height tend to provide less accurate volumetric estimates compared to those based on stem diameter. Central tendency measurements based on height tend to provide less accurate volumetric estimates compared to those based on stem diameter.

**Keywords:** Height; Diameter; Form factor; Position measurements.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>9</b>
2.1.	Variáveis de medidas .....	9
2.2.	Diâmetro.....	9
2.3.	Medidas de posição para o diâmetro .....	10
2.4.	Média aritmética dos diâmetros.....	10
2.5.	Altura de Lorey.....	11
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>24</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>25</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A quantificação do estoque lenhoso é uma etapa fundamental na rotina do mensuracionista, cuja qualidade de execução influencia a assertividade de decisões e gerenciamento da produção silvícola (RAMOS-VEINTIMILLA *et al.*, 2023). A seleção adequada de fustes para a cubagem rigorosa é imprescindível para a confiabilidade da estimativa volumétrica disponível em povoamentos florestais.

A segurança no uso de abordagens para a estimativa volumétrica de talhões comerciais depende da representatividade de fustes selecionados para a cubagem, qualidade dos dados coletados e da técnica adotada no processamento das informações (LAFETÁ *et al.*, 2021; MIGUEL *et al.*, 2018; DUCEY; KERSHAW JR., 2023). A opção por abordagens fundamentadas em fatores de forma ou volume médio individual se relacionam à facilidade de aplicação, reduções de custos e esforço amostral, em comparação com aquelas que empregam modelagens volumétricas e de afilamento (CAMPOS; LEITE, 2017).

Contudo, incertezas associadas à utilização do fator de forma e volume médio individual são atribuídas, em parte, à diversidade de formatos que fustes podem assumir devido a diferenças entre idades, qualidades de sítio, materiais genéticos, classes de diâmetro, espaçamentos de plantio e demais tratamentos silviculturais (LAFETÁ *et al.*, 2021; PENG *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2022; KRUCHELSKI *et al.*, 2023; LIMA *et al.*, 2023). Mais investigações científicas que demonstram o potencial da aplicação de ambas as abordagens são necessárias e contribuem para o aprimoramento logístico de práticas de cubagem e agilidade do processamento de inventários.

O planejamento da seleção dos fustes cubados deve ser conduzido com bastante cautela para maximizar o rendimento operacional em campo sem prejudicar a acurácia do volume (LAFETÁ *et al.*, 2021). Embora a intensificação da quantidade de fustes cubados torne o procedimento de amostragem cada vez mais dispendioso, uma quantidade reduzida de fustes pode não refletir adequadamente a diversidade dendrométrica presente em um povoamento (CAMPOS; LEITE, 2017).

A definição de uma medida de tendência central padrão que represente adequadamente aspectos produtivos médios de povoamentos em distintas condições de assimetria é um grande desafio na rotina do analista florestal. Têm-se diversas medidas para a expressão da posição central de um banco de dados e as

mais conhecidas na literatura estatística são a média, moda e mediana. A média aritmética é preconizada em situações as quais os dados apresentam distribuição simétrica, enquanto a mediana e a moda são indicadas em cenários de assimetria e de distribuições multimodais, respectivamente (HATEM *et al.*, 2022; RUBIA *et al.*, 2023).

Medidas de tendência central do diâmetro são preferencialmente adotadas na busca de fustes específicos para a cubagem rigorosa, em virtude de sua forte associação com o volume e à menor laboriosidade de mensurações em relação às de altura (CAMPOS; LEITE, 2017). O diâmetro médio quadrático é a medida dendrométrica mais difundida no Brasil para a seleção de fustes modelos ou de referência, destinados à quantificação volumétrica, análises nutricionais, fisiológicas e/ou tecnológicas da madeira (CAMPOS; LEITE, 2017; LAFETÁ *et al.*, 2018; BARBOSA *et al.*, 2023; DUCEY; KERSHAW JÚNIOR, 2023). Trata-se do diâmetro de fuste correspondente à área seccional média em uma unidade de área.

A seleção criteriosa de fustes para a cubagem rigorosa fornece subsídios essenciais capazes de viabilizar uma eventual aplicação de fator de forma ou volume médio individual em inventários florestais. Mediante o exposto, as seguintes hipóteses foram testadas: I – estratégias baseadas em medidas de posição do diâmetro e da altura são úteis para a identificação de fustes representativos do volume médio individual e fator de forma em povoamentos de eucalipto; II – abordagens fundamentadas no fator de forma e no volume médio individual fornecem estimativas volumétricas semelhantes entre si. O objetivo do trabalho foi avaliar diferentes medidas dendrométricas de tendência central na definição do volume médio individual e fator de forma médio em povoamentos de eucalipto.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Variáveis de medidas

A relevância das variáveis quantitativas associadas aos povoamentos florestais é notável no contexto do planejamento, administração e exploração dos recursos florestais. A utilização das abordagens baseadas em fatores de forma ou volume médio individual em inventários florestais oferecem diversas vantagens, como a redução de custos e esforço amostral, em comparação a aquelas que empregam modelagens volumétricas e de afilamento. As medidas dendrométricas de tendência central são utilizadas para caracterizar a distribuição de uma população de árvores, fornecendo informações sobre o seu comportamento médio. No caso de povoamentos de eucalipto, essas medidas são utilizadas para definir o volume médio e o fator de forma. Os inventários florestais são procedimentos utilizados para fornecer tais informações, a respeito das quantidades e qualidades dos recursos florestais e de muitas outras características das áreas sobre as quais as árvores estão crescendo (Husch *et al.* 2003).

A estimativa dos atributos quantitativos ou qualitativos do povoamento florestal, utiliza ferramentas de amostragem para estimar as características e o dinamismo da floresta. Segundo Scolforo 1993, nem sempre é possível fazer o censo, procedimento que abrange todos os indivíduos de uma população florestal, normalmente, os levantamentos são realizados tendo como base a teoria estatística da amostragem, sendo definida como a observação de uma amostra da população para obter estimativas representativas para o todo, constituída de indivíduos que apresentam características comuns que representem a população a qual pertencem.

### 2.2. Diâmetro

O diâmetro é uma grandeza dendrométrica de medição direta com a qual é possível calcular a área transversal, a área basal, o quociente e o fator de forma de uma árvore, o volume e outras grandezas de interesse (Stygar Lopes, 2020). Ao longo do fuste de uma determinada árvore, é possível medir inúmeros diâmetros, estes podem ser quantificados de diversas formas. Segundo LOËTSCH *et al.*, 1973, o diâmetro à altura do peito (DAP) é o elemento mais importante medido em uma árvore, pois fornece a base para muitos outros cálculos. Ele serve para a obtenção

da área seccional à altura do peito (g), medida importante no cálculo do volume das árvores e de povoamentos.

Baseando-se no Sistema Internacional de Unidades – SI, no Brasil, o DAP é medido à altura de 1,30 m sobre o nível do solo, nos Estados Unidos é medido a 1,37 m na Inglaterra e em outros países europeus a 1,29m, no Japão a 1,25 m. Essas diferentes alturas de medição do DAP implicam impedimento na comparação de valores de área basal em nível internacional. Pois acredita-se que na maioria das árvores, as deformações estão na base do fuste, o que acaba dificultando a medição dos diâmetros e causando erros nos cálculos das áreas de secção, já acima da altura do peito, essas deformações são reduzidas. Dentre os pontos que melhor justificam a escolha DAP como forma de padronização de nível mundial estão, a maior agilidade no trabalho realizado no campo e redução de erros sistemáticos. Além de ser uma altura que facilita o trabalho e manuseio dos instrumentos de medição, sendo também uma medida facilitadora em caso de medição de sapopemas (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2011).

O estudo das distribuições diamétricas permite conhecer a estrutura do povoamento, especificamente as dimensões das árvores e seu sortimento em relação a uma unidade de área, além de refletir também, importantes parâmetros para o manejo florestal (Prodan, 1965).

### 2.3. Medidas de posição para o diâmetro

De acordo com Fernandes *et al.*, 2015, às medidas de posição para o diâmetro são medidas importantes para a estimativa do volume da madeira de uma árvore, onde a medida mais precisa em povoamentos de eucaliptos é a medida central. Portanto, a escolha da medida de posição mais adequada para o diâmetro deve ser feita de forma cuidadosa, pois pode ser afetada por fatores como a distribuição dos diâmetros das árvores e a variabilidade da forma da árvore. (Oliveira et al., 2018)

### 2.4. Média aritmética dos diâmetros

Os métodos tradicionais de estatística, usados para análise dos Inventários florestais, utilizam-se de uma medida central (média) e de uma medida de dispersão (variância) para descrever um determinado fenômeno, sem levar em consideração as possíveis correlações entre observações vizinhas. Portanto, eles

não exploram suficientemente as relações que possam existir entre as unidades amostrais (Rufino, 2005).

### 2.5. Altura de Lorey

A altura de Lorey é uma métrica fundamental no campo da silvicultura, especialmente quando se trata de avaliar a estrutura vertical de povoamentos florestais. Para obtê-la, é comum o uso de uma ferramenta chamada relascópio de Bitterlich. Este equipamento desempenha um papel crucial na estimativa das alturas das árvores no campo. A altura de Lorey é definida como uma medida não invasiva da altura dos fustes em povoamentos florestais, no entanto, a precisão da altura de Lorey pode ser afetada pela forma da árvore, o que pode levar a erros na estimativa da altura real." (Oliveira *et al.*, 2013).

Essa medida também fornece informações sobre a heterogeneidade da altura das árvores em um povoamento florestal, utilizada para compreender a estrutura vertical da floresta e seu impacto no manejo florestal. O cálculo é feito a partir das alturas individuais das árvores e representa a altura média ponderada das mesmas no povoamento, considerando o espaçamento entre as copas. Ela é especialmente relevante em florestas com estratificação vertical significativa.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma plantação clonal de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake instalada no arranjo espacial 3,0 × 2,5 m, situada na porção central do estado de Minas Gerais. O clima predominante na região é do tipo Cwa pelo sistema de classificação internacional de Köppen (ALVAREZ *et al.*, 2013). A unidade de manejo florestal 1 (UMF1) abrangeu uma área de 87,91 ha sob as coordenadas de longitude 459437m e latitude 7903580m, com precipitação média anual de 1.259 mm e temperatura média anual de 22,7°C, a UMF2 ocuparam 42,74 ha (médias anuais de 1.043 mm e 23,4°C), nas coordenadas de longitude 554991 e de latitude 7900318, a UMF3 77,21 ha (médias anuais de 1.043 mm e 23,4°C) nas coordenadas de longitude 567041 e de latitude 7957427, e a UMF4 85,57 ha (médias anuais de 1.189 mm e 23,0°C), nas coordenadas de longitude 486435 e de latitude de 7921081.

O inventário foi conduzido aos 36, 48, 60 e 72 meses de idade e seguiu a rotina operacional cotidiana de uma empresa florestal, sendo lançadas casualmente 11 parcelas permanentes na UMF1, 6 parcelas na UMF2, 10 parcelas na UMF3 e 7 parcelas na UMF4. A área útil de cada parcela foi de 400 m<sup>2</sup> (20 × 20 m). Foram realizadas medições do diâmetro com casca à altura do peito (DAP – à altura de 1,30 m do solo, cm) e estimou-se a altura total (H, m) de todos os fustes inventariados. O volume dos fustes (m<sup>3</sup> ind<sup>-1</sup>) foram estimados por meio de equações específicas para cada UMF, discriminadas em PENIDO *et al.* (2020). O fator de forma à altura do peito (f) foi calculado pela razão entre a estimativa do volume real e o volume de um cilindro hipotético (CAMPOS; LEITE, 2017). Esses dados foram submetidos análise de assimetria e curtose pelo método dos momentos.

Avaliaram-se oito critérios para a definição de fustes representativos do volume médio individual (VMI, m<sup>3</sup> ind<sup>-1</sup>) e do fator de forma médio ( $\bar{f}$ ), com base em medidas dendrométricas de tendência central. As seguintes medidas dendrométricas foram calculadas por UMF:

- MD1 – média aritmética de DAP ( $\underline{DAP}$ , cm);
- MD2 – média geométrica de DAP ( $DAP_G$ , cm);
- MD3 – média harmônica de DAP ( $DAP_H$ , cm);
- MD4 – mediana de DAP ( $DAP_{Me}$ , cm);
- MD5 – diâmetro médio quadrático ( $q$ , cm);

- MD6 – média aritmética de altura ( $H$ , m);
- MD7 – altura média quadrática ( $H_q$ , m); e
- MD8 – altura de Lorey ( $H_L$ ).

Para cada medida dendrométrica de tendência central, UMF e idade, identificaram-se os valores individuais de volume ( $V_i$ ,  $m^3 \text{ ind}^{-1}$ ) e de fator de forma ( $f_i$ ) correspondentes aos fustes cujas dimensões mais se aproximaram da medida de posição em análise. O volume com casca ( $m^3 \text{ ha}^{-1}$ ) foi calculado empregando duas abordagens técnicas, uma envolvendo a relação multiplicativa entre volume identificado e a quantidade de fustes e outra aplicando o fator de forma, conforme CAMPOS e LEITE (2017).

Realizou-se a análise da distribuição de densidade do volume médio individual e do fator de forma observados no inventário florestal contínuo, com identificação do percentil de ocorrência do DAP correspondente aos seus valores médios. Os erros percentuais do volume e fator de forma, expressos por fustes e por unidade de área, foram utilizados para a análise de inspeção gráfica.

Todas as análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R (R CORE TEAM, 2023).

## 4 RESULTADOS

O inventário florestal contemplou a amostragem de 1.597, 1.592, 1.588, 1.586 e 1.584 fustes nas idades de 24, 36, 48, 60 e 72 meses de idade, respectivamente. Os valores de cada medida dendrométrica de tendência central se encontra detalhada por unidade de manejo na Tabela 1. Em termos gerais, as medidas de posição do DAP diminuíram na ordem subsequente: mediana > diâmetro médio quadrático > média aritmética > média geométrica > média harmônica; indicativo de assimetria negativa ou à esquerda. As assimetrias de DAP foram de -0,68 (curtose = 3,70), -0,73 (curtose = 4,50), -0,86 (curtose = 5,20), -0,77 (curtose = 4,74) e -0,66 (curtose = 4,63) ao longo do período inventariado.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos atributos dendrométricos de fustes inventariados em eucaliptais com diferentes idades.

Idade (meses)	VMI (m <sup>3</sup> ind <sup>-1</sup> )	<u>DAP</u>	$DAP_G$	$DAP_H$	$DAP_{Me}$	$q$	$\underline{H}$	$H_q$	$H_L$
		----- (cm) -----					----- m -----		
----- UMF1 -----									
24	0,0658	10,73	10,64	10,46	10,89	10,80	15,01	15,10	15,18
36	0,1561	13,82	13,69	13,48	14,13	13,93	22,42	22,53	22,66
48	0,2046	15,00	14,84	14,61	15,37	15,13	25,16	25,27	25,53
60	0,2421	15,78	15,60	15,37	16,17	15,92	27,17	27,27	27,55
72	0,2621	16,26	16,09	15,87	16,65	16,41	27,83	27,92	28,18
----- UMF2 -----									
24	0,0573	9,85	9,74	9,52	9,99	9,92	14,13	14,21	14,31
36	0,1419	13,20	13,09	12,96	13,37	13,29	20,66	20,75	20,81
48	0,2105	14,84	14,71	14,55	15,06	14,96	24,74	24,84	25,04
60	0,2559	15,88	15,73	15,55	16,14	16,01	26,55	26,65	26,89
72	0,2922	16,54	16,39	16,21	16,65	16,67	28,17	28,27	28,52
----- UMF3 -----									
24	0,0354	8,03	7,87	7,68	7,96	8,18	11,92	12,13	12,45
36	0,0773	10,74	10,60	10,41	10,92	10,85	15,94	16,15	16,25
48	0,1281	12,49	12,34	12,13	12,76	12,61	20,69	20,80	20,93
60	0,1489	13,07	12,90	12,67	13,31	13,20	22,23	22,35	22,54
72	0,1661	13,53	13,36	13,13	13,75	13,66	23,35	23,46	23,70
----- UMF4 -----									
24	0,0431	9,03	8,92	8,77	9,14	9,12	12,96	12,99	13,08
36	0,1183	12,37	12,24	12,06	12,51	12,47	19,59	19,62	19,73
48	0,1748	13,81	13,64	13,40	14,01	13,95	23,20	23,26	23,46
60	0,2020	14,53	14,34	14,09	14,83	14,69	24,38	24,44	24,66
72	0,2136	14,78	14,59	14,35	15,02	14,93	24,96	25,01	25,27

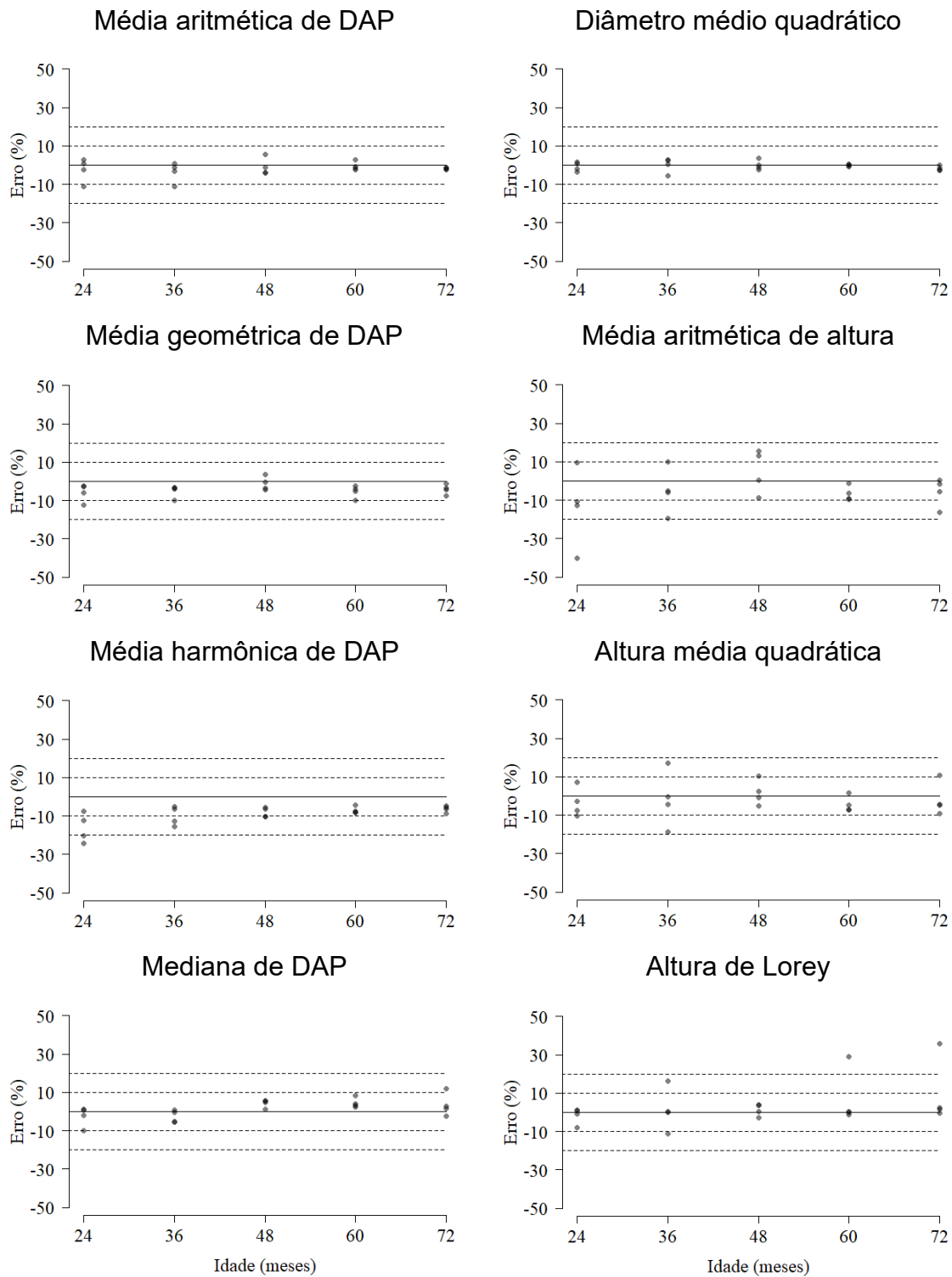
VMI = volume médio individual;  $\underline{DAP}$  = média aritmética de DAP;  $DAP_G$  = média geométrica de DAP;  $DAP_H$  = média harmônica de DAP;  $DAP_{Me}$  = mediana de DAP;  $q$  = diâmetro médio quadrático;  $\underline{H}$  = média aritmética de altura;  $H_q$  = altura média quadrática;  $H_L$  = altura de Lorey; e UMF = unidade de manejo florestal.

A altura de Lorey resultou nas maiores medidas hipsométricas entre unidades de manejo, seguidas da altura quadrática e da média aritmética das alturas (Tabela 1). As assimetrias de altura de todos os fustes inventariados foram de -0,69 (curtose = 4,40) aos 24 meses, de - 0,65 (curtose = 3,24) aos 36

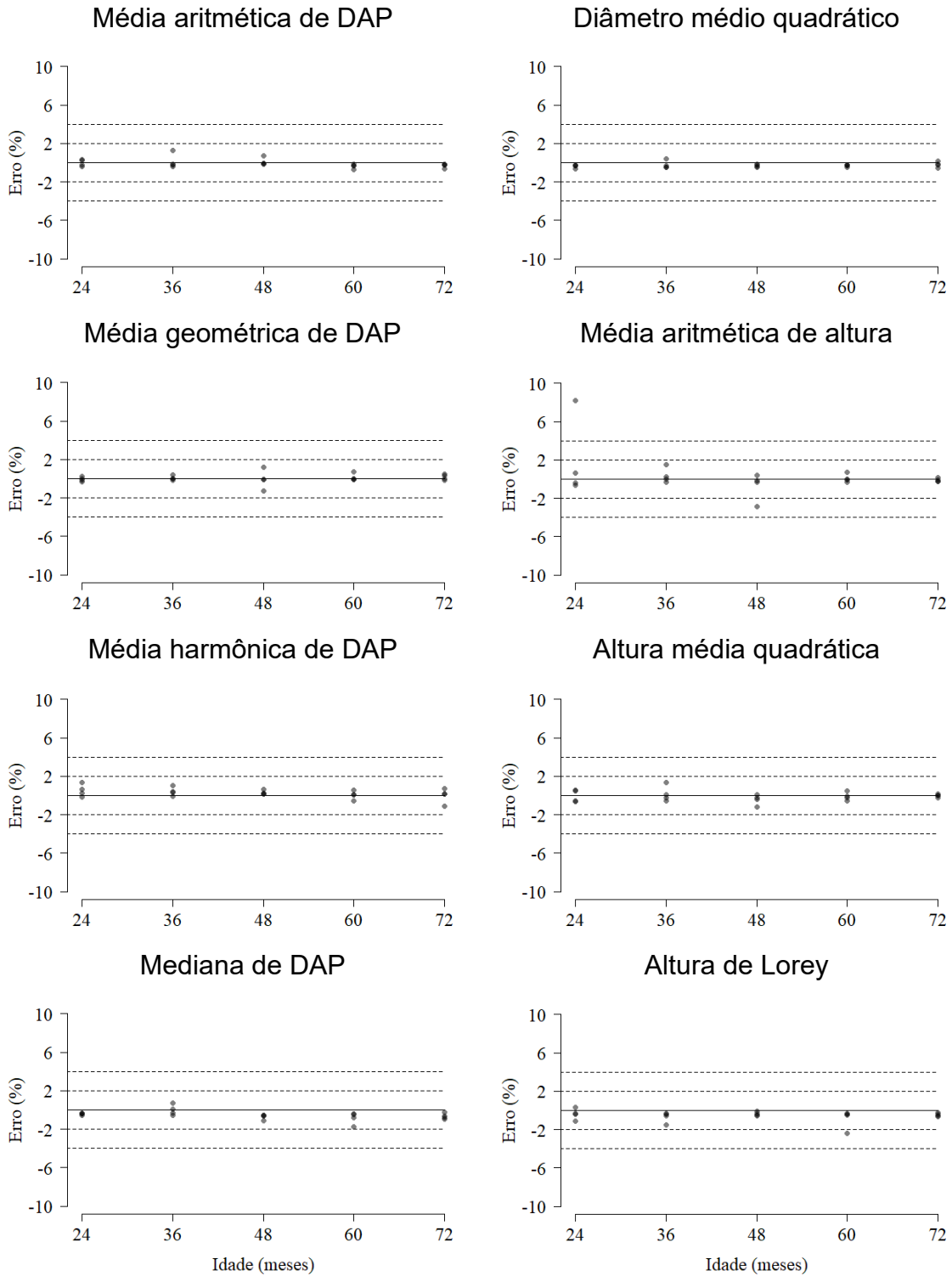
meses, de -1,11 (curtose = 6,52) aos 48 meses, de -0,99 (curtose = 5,75) aos 60 meses e de -0,93 (curtose = 5,96) aos 72 meses de idade. Os sítios mais produtivos aos 72 meses também exibiram os maiores volumes médios individuais; UMF2 ( $315 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) > UMF1 ( $298 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) > UMF4 ( $244 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) > UMF3 ( $209 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ).

Os diâmetros e alturas totais dos fustes inventariados cujas dimensões mais se aproximaram das medidas dendrométricas de tendência central (Tabela 1) apresentaram diferenças absolutas, em módulo, de no máximo 0,02 cm e 0,04 m, respectivamente. Verificou-se que os erros percentuais de volume e fator de forma dos fustes identificados a partir das medidas dendrométricas baseadas em altura apresentaram maior dispersão em comparação com aqueles calculados com base no diâmetro (Figuras 1 e 2). O diâmetro médio quadrático proporcionou distribuições homogêneas e com os menores erros percentuais para a estimativa do volume médio individual (-5,76 a 3,70%) e do fator de forma médio (-0,63 a 0,42%) por unidade de manejo

**Figura 1.** Estimativa de erro do volume médio individual com casca referente a fustes definidos a partir de diferentes medidas de tendência central e atributos dendrométricos de eucaliptais. Cada ponto representa uma unidade de manejo florestal em diferentes idades.



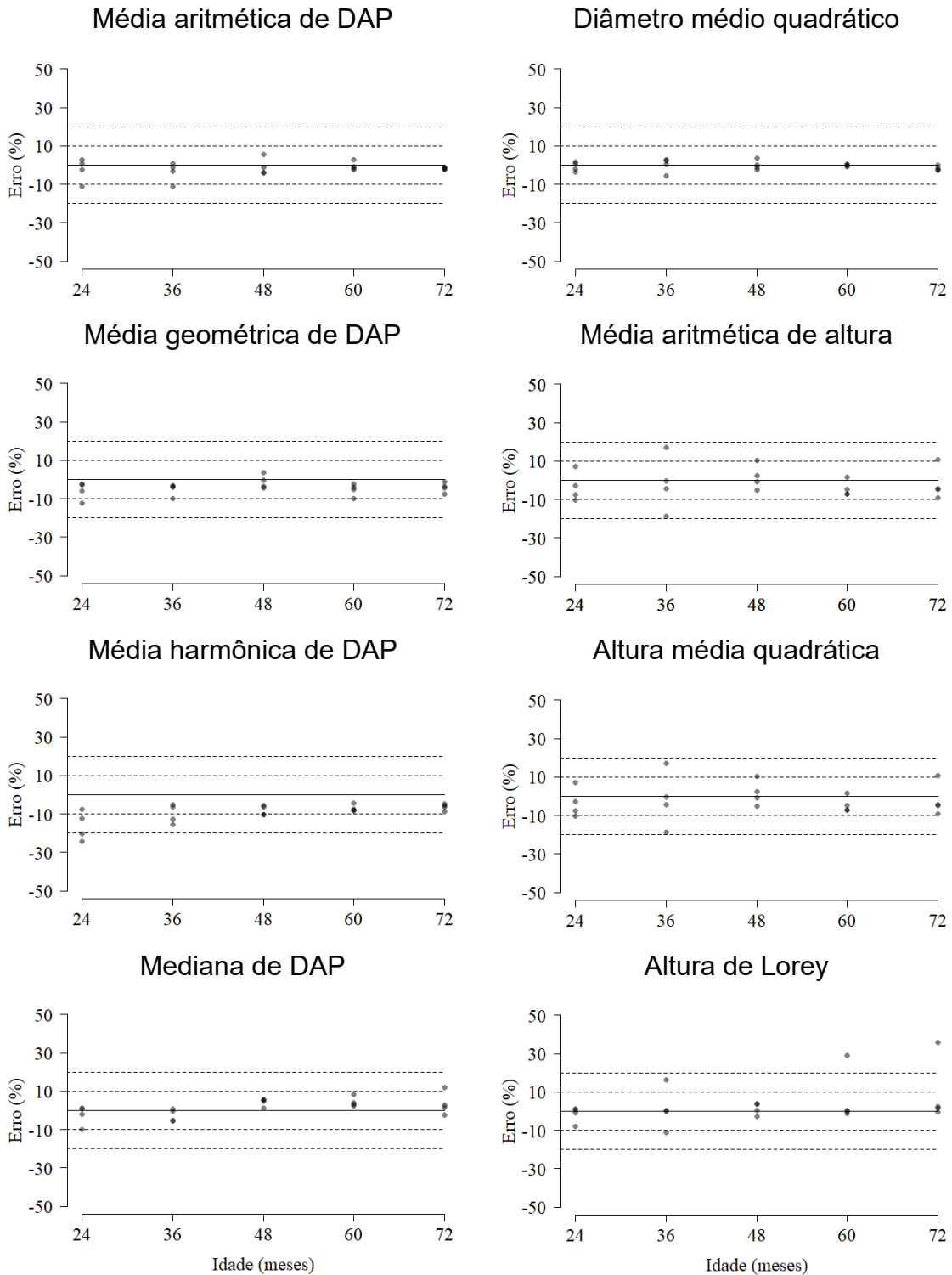
**Figura 2.** Estimativa de erro do fator de forma com casca referente a fustes definidos a partir de diferentes medidas de tendência central e atributos dendrométricos de eucaliptais. Cada ponto representa uma unidade de manejo florestal em diferentes idades.



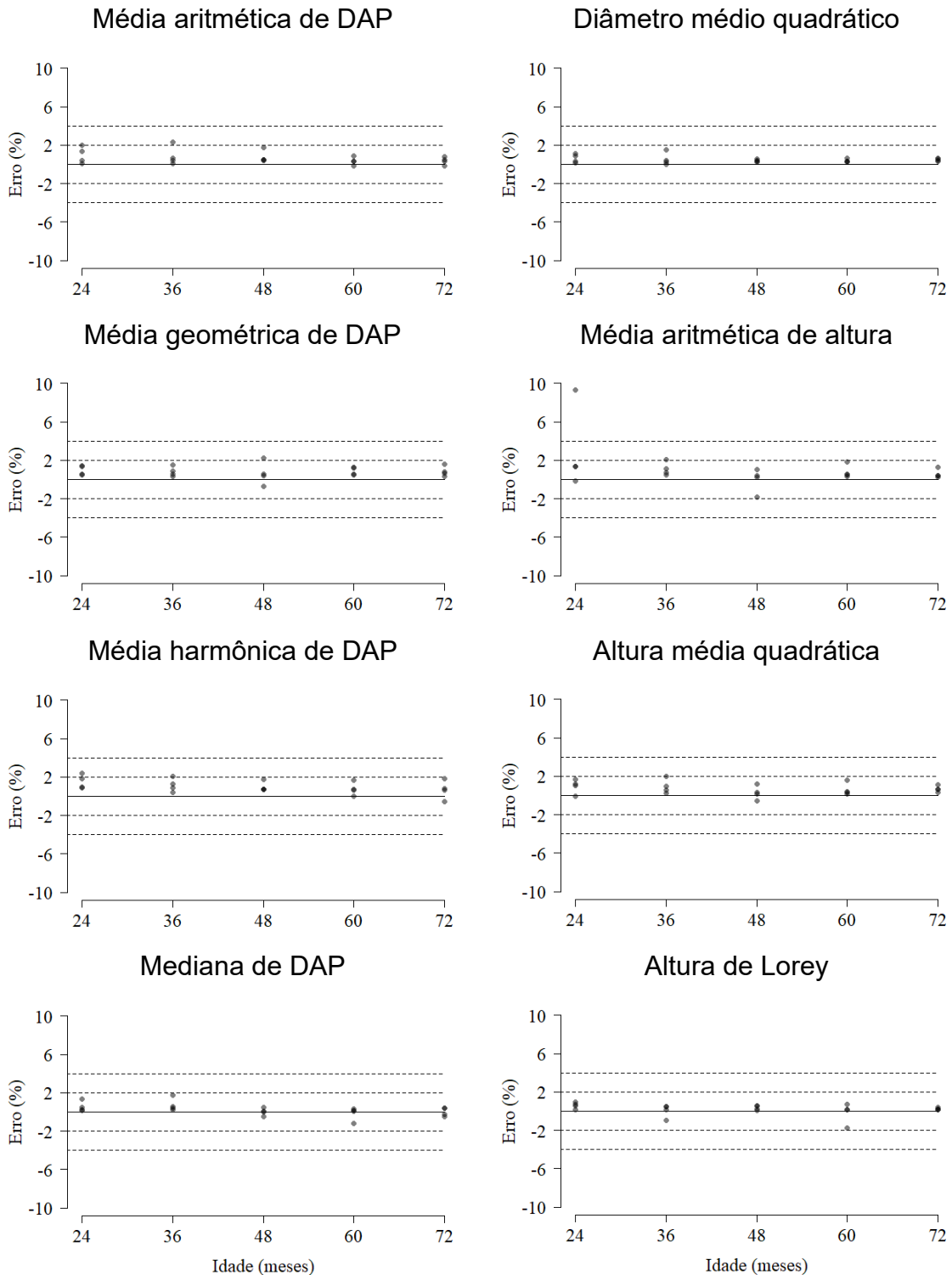
A acurácia na estimativa dos volumes por unidade de área não foi visualmente similar entre as abordagens que utilizaram as médias do volume individual e fator de forma (Figuras 3 e 4). As estimativas volumétricas por hectare mais enviesadas foram encontradas nas ocasiões em que se adotou a média harmônica como medida dendrométrica de tendência central. Nesses casos, ocorreram subestimação e superestimação volumétrica nas abordagens com uso do volume médio individual e fator de forma para o cálculo do volume por unidade de área, respectivamente.

A aplicação do fator de forma do fuste com diâmetro médio quadrático promoveu a qualidade das estimativas volumétricas por hectare e demonstrou pouco viés (erro variando de 0,01 a 1,47%), especialmente, para a quantificação do volume em maiores idades. A relação multiplicativa entre o volume do fuste correspondente ao diâmetro médio quadrático e a quantidade de indivíduos inventariados resultou em estimativas volumétricas por hectare com erros em torno de -5,76 a 3,70% (Figura 3).

**Figura 3.** Distribuição de erro do volume com casca por hectare de eucaliptais obtido pela relação multiplicativa entre a quantidade de fustes e o volume médio individual, definido a partir de diferentes medidas de tendência central. Cada ponto representa uma unidade de manejo florestal em diferentes idades.



**Figura 4.** Distribuição de erro do volume com casca por hectare de eucaliptais obtido por meio de fator de forma médio, definido a partir de diferentes medidas de tendência central. Cada ponto representa uma unidade de manejo florestal em diferentes idades.



## 5 DISCUSSÃO

A caracterização dendrométrica das unidades de manejo florestal por meio do inventário florestal contínuo evidenciou distribuições assimétricas de diâmetro e altura dos fustes (Tabela 1). Todas as assimetrias foram negativas e demonstraram maior abundância de indivíduos nas maiores classes de tamanho, resultando em uma distribuição com cauda à esquerda (RUBIA et al., 2023). O comportamento leptocúrtico verificado nessas distribuições foi consequência de valores de curtose maiores do que o da distribuição gaussiana, ou seja, quando a distribuição é mais pontiaguda do que a normal (HATEM et al., 2022). Esse fenômeno ocorre quando há uma concentração excessiva de indivíduos próximos à média aritmética do atributo dendrométrico em questão, o que resulta em um pico na distribuição mais pronunciado do que em uma distribuição normal (SANTOS et al., 2019).

As medidas de tendência central calculadas com informações de diâmetro apresentaram estimativas de erro das médias do médio individual e fator de forma mais próximas ao eixo das abcissas em comparação àquelas de altura (Figuras 1 e 2), conferindo-lhes maior acurácia, importante para uma eficiente gestão dos recursos florestais. Tais afirmações são particularmente relevantes no contexto prático, pois a medição do diâmetro à altura do peito é uma tarefa que se destaca em inventários por sua simplicidade, rapidez e acessibilidade, ao contrário da medição de altura (CAMPOS; LEITE, 2017; LAFETÁ, et al., 2023).

A maior acuracidade dos fustes com diâmetro médio quadrático para a representação das médias do volume individual (erros de -7,43 a 2,76%) e fator de forma (erros de -0,64 a 0,82 %) das unidades de manejo pode ter sido atribuída pela sua própria expressão matemática, que fornece mais peso aos fustes mais grossos. Esse mesmo efeito é esperado em expressões volumétricas, onde diâmetros maiores tendem a exercer mais influência na estimativa do volume; resumidamente explicado por relação algébrica entre área seccional, altura e a forma dos fustes (CAMPOS; LEITE, 2017). No extremo inverso, o uso das médias geométrica e harmônica de diâmetro revelou um claro viés de subestimação do volume individual; o mesmo não foi observado para a estimativa de erro do fator de forma.

A acurácia dos volumes com casca quantificados por hectare variou entre as duas abordagens técnicas avaliadas (Figuras 3 e 4). A menor dispersão do erro

das estimativas volumétricas calculadas por fator de forma, em contraste às provenientes do volume médio individual, associou-se ao nível de detalhamento das informações necessárias para ambas as abordagens. Isso se deve ao fato de que a segunda abordagem depende principalmente de informações gerais da abundância de fustes para o cálculo do volume em uma determinada área, enquanto que a primeira se baseia em um conjunto de dados individuais, como altura e área seccional.

Os fustes identificados com diâmetro médio quadrático propiciaram as estimativas mais acuradas do volume com casca totalizado por hectare, sobretudo, quando se utilizou a abordagem técnica com fator de forma (Figura 4). As estimativas volumétricas dessa abordagem se destoaram menos que 1,5% em torno daquele obtido pela modelagem volumétrica (PENIDO et al., 2020), confirmando o potencial de aplicação do fator de forma em inventários florestais. Vale destacar que o fuste selecionado para a cubagem e cálculo do fator de forma influenciou diretamente a acurácia do volume e, portanto, deve ser apropriadamente identificado para que reflita as reais condições produtivas do sítio.

Entretanto, é conveniente enfatizar que a totalização da produção fundamentada no volume do fuste com tal diâmetro resultou na dispersão residual entre -6 a 6%, o que ainda permitiria, em alguns casos de maior uniformidade, a dispensa da medição de altura e modelagem hipsométrica em inventários florestais. Recomenda-se a realização de análises preliminares em escala operacional para eventual o uso dessa abordagem técnica.

Os resultados alcançados contribuem para o desenvolvimento de futuras pesquisas sobre a mensuração e quantificação de recursos florestais. É indispensável que a seleção da medida de tendência central leve em consideração tanto a natureza dos dados em estudo quanto os objetivos subjacentes à análise estatística. Esse entendimento aprofundado das técnicas estatísticas fomenta a melhoria contínua da acurácia e avanço de práticas operacionais em inventários de povoamentos equiâneos.

## 6 CONCLUSÕES

Fustes com diâmetro médio quadrático são úteis para representar o volume médio individual e o fator de forma médio em unidades de manejo florestal.

Medidas dendrométricas de tendência central baseadas em altura tendem fornecer estimativas volumétricas menos acuradas em comparação aquelas com base no diâmetro de fustes. Além disso, estimativas volumétricas por unidade de área podem ser obtidas com precisão ao se empregar abordagens baseadas no volume médio individual e, em especial, no fator de forma.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- BARBOSA, L. O.; SANTOS, J. A.; GONÇALVES, A. F. A.; CAMPOE, O. C.; SCOLFORO, J. R. S.; SCOLFORO, H. F. Competition in forest plantations: empirical and process-based modeling in pine and eucalypt plantations. **Ecological Modelling**, v.483, 110410, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110410>.
- CAMPOS, J. C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 5. ed. Viçosa: UFV. 2017. 636p.
- DUCEY, M. J.; KERSHAW JÚNIOR.; J. A. Alternative expressions for stand diameter in complex forests. **Forest Ecosystems**, v. 10, 100114, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100114>
- Fernandes, A. L.; Oliveira, A. C.; Oliveira, J. A. (2013). Avaliação da precisão da altura de Lorey em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, 37(6), 1067-1076.
- Fernandes, A. L.; Oliveira, A. C.; Oliveira, J. A. (2015). Avaliação da influência da medida de posição no cálculo do volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, 39(3), 545-554.
- HATEM, G.; ZEIDAN, J.; GOOSSENS, M.; MOREIRA, C. Normality testing methods and the importance of skewness and kurtosis in statistical analysis. **BAU Journal - Science and Technology**, v. 3, n. 2, p. 1-5, 2022. DOI: <https://doi.org/10.54729/KTPE9512>
- Husck, B.; Miller, C.I.; Kershaw, J. (2013). **Forest mensuration**. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons.
- KRUCHELSKI, S.; TRAUTENMÜLLER, J. W.; ORSO, G. A.; TRICHES, G. P.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. Growth and productivity of *Eucalyptus benthamii* in integrated crop–livestock systems in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 97, p. 45-57, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00785-0>
- LAFETÁ, B. O.; BARBOSA, I. W. B. S.; OLIVEIRA, A. G.; VIEIRA, D. S.; PENIDO, T. M. A. Comprimentos de seção e altura de fustes na cubagem rigorosa em diferentes espaçamentos de eucalipto. **Agrarian**, v. 14, n. 53, p. 360-370, 2021. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v14i53.15237>
- LAFETÁ, B. O.; PIMENTA, I. A.; SANTOS, M. A.; RODRIGUES, H. B. X.; FONTAN, I. C. I.; FERRARO, A. C.; VIEIRA, D. S. Alternativas de modelagem para a estimativa da altura de árvores de eucalipto. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v. 20, n. 47, p. 1-8, 2023. DOI: <https://doi.org/10.18845/rfmk.v20i47.6816>

LAFETÁ, B. O.; SANTANA, R. C.; NOGUEIRA, G. N.; NEVES, J. C. L.; PENIDO, T. M. A. Eficiência de utilização de macronutrientes em eucalipto por método não destrutivo estimados por redes neurais artificiais. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 613-623, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832049>

LIMA, M. D. R.; MORAES, L. G.; SILVA, R. C. C.; BARROS JUNIOR, U. O.; BUFALINO, L.; SOARES, A. A. V.; ASSIS-PEREIRA, G.; GONÇALVES, D. A.; TOMAZELLO-FILHO, M.; PROTÁSIO, T. P. *Tachigali vulgaris* energy forests: understanding spacing, age, and stem type effects on tree growth patterns and wood density. **New Forests**, v. 54, p. 491–513, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09932-y>

Loëtzsch, R.; Schober, U.; Pretzsch, H. (1973). **Dendrometria: métodos e técnicas**. Piracicaba: ESALQ/USP.

LIU, G.; WU, Z.; LUO, J.; WANG, C.; SHANG, X.; ZHANG, G. Genes expression profiles in vascular cambium of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* at different ages. **BMC Plant Biology**, v. 23, n. 500, p. 1-17, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04500-8>

MIGUEL, E. P.; NETTO, S. P.; AZEVEDO, G. B.; AZEVEDO, G. T. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Alternative methods of scaling *Eucalyptus urophylla* trees in forest stands: compatibility and accuracy of volume equations. **Forest - Biogeosciences and Forestry**, v. 11, p. 275-283, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor2155-011>

Oliveira, A. C.; Fernandes, A. L.; Oliveira, J. A. (2020). **Dendrometria: princípios e aplicações**. São Paulo: Editora Unesp.

PENIDO, T. M. A.; LAFETÁ, B. O.; NOGUEIRA, G. S.; ALVES, P. H.; GORGENS, E. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Modelos de crescimento e produção para a estimativa volumétrica em povoamentos comerciais de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 128, e3340, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.06>

PENG, P.-.; KUO, C.-.; WEI, C.-.; HSIEH, Y.-.; CHEN, J.-. The relationship between breast height form factor and form quotient of *Liquidambar formosana* in the eastern part of Taiwan. **Forests**, v. 13, 1111, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13071111>

Prodan, M. (1965). **Manejo de bosques tropicales**. Washington, DC: FAO. 250 p

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2023.

RAMOS-VEINTIMILLA, R. A.; CARRASCO-BAQUERO, J.; VERA-VÉLEZ, R.; GÁRCIA-MORA, M.; ROMERO-CAÑIZARES, F.; PALACIOS, B.; PANAMÁ-PERUGACHI, P. Analysis of the form factor or morphic coefficient of a young plantation of *Eucalyptus saligna* Smith in thorny steppe Lower Montano Ecuador. **Advanced Composites Bulletin**, p. 317-331, 2023.

RUBIA, J. M. Standardized distance from the mean to the median as a measure of skewness. s. **Open Journal of Statistics**, v. 13, p. 359-378, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojs.2023.133018>

Rufino, M. A. (2005). **Análise de dados em inventário florestal**. Viçosa: Editora UFV.

SANTOS, M. A.; MADI, J. P. S.; DRESCHER, R.; MÔRA, R.; BIAZATTI, S. C. Modelagem da distribuição diamétrica para eucalipto seminal na região Centro Oeste de Mato Grosso. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 2, p. 639-643, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v6i2.7632>

SILVA, P. H. M.; LEE, D. J.; AMANCIO, M. R.; ARAUJO, M. J. Initiation of breeding programs for three species of *Corymbia*: introduction and provenances study. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 22, n. 1, e40012211, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332022v22n1a01>

Scolforo, J. R. (1993). **Inventários florestais: métodos e técnicas**. 2. ed. São Paulo: Nobel.

Soares, J. V.; Paula Neto, F.; Souza, M. A. (2011). **Inventário florestal: conceitos, métodos e aplicações**. São Paulo: Editora UFV.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

ZHOU, Z.; DING, G.; LI, Z.; FAN, F. Full-Length transcriptome analysis of the secondary-growth related genes of *Pinus massoniana* Lamb. with different diameter growth rates. **Forests**, v. 14, n. 4, 811, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14040811>