



Análise volumétrica de *Qualea sp.* em floresta de transição Cerrado-Amazônia

Charlotte WINK ^{*1}, Leonardo Kipper ALVES ², Arthur Faganello Teodoro dos ANJOS ³,
Emanuel José Gomes de ARAÚJO ⁴, Rafaella De Angeli CURTO ⁴

¹ Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.

² Escola Internacional de Doutoramento, Faculdade de Ciências, Universidade de Vigo, Ourense, Espanha.

³ Floresta Assessoria e Planejamento Florestal Ltda, Sinop, MT, Brasil.

⁴ Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil.

*E-mail: charlotte.wink@ufmt.com

Submetido em: 22/04/2024; Aceito em: 22/08/2024; Publicado em: 24/09/2024.

RESUMO: A precisão das estimativas do volume de madeira, por equações e fator de forma, no manejo florestal é essencial. O objetivo foi avaliar a precisão na estimativa de volume de *Qualea sp.* por equações e fator de forma em floresta de transição Cerrado-Amazônia. O volume foi estimado por equações de simples e dupla entrada com dados de cubagem pelo método de Smalian de 20 indivíduos comerciais (C) e 30 indivíduos comerciais e não comerciais (CNC). A estimativa também foi realizada por fator de forma calculado e fator de forma padrão de 0,7 recomendado pela legislação. A precisão foi avaliada pelo Viés, Média das Diferenças Absolutas e Desvio Padrão das Diferenças. O grupo CNC apresentou volume médio de 2,38 m³ ha⁻¹ e fator de forma de 0,54, já o grupo C apresentou o volume médio de 2,88 m³ ha⁻¹ com fator de forma de 0,52. Os melhores modelos para estimativa do volume de CNC e C foram Spurr, Spurr-Variável combinada e Schumacher-Hall. O fator de forma calculado foi inferior ao fator de forma padrão 0,7. Conclui-se que os modelos apresentam estimativas mais precisas e menores erros comparado as estimativas com fator de forma calculado e padrão.

Palavras-chave: fuste; manejo florestal; equação; fator de forma.

Volumetric analysis of *Qualea sp.* in cerrado-amazon transition forest

ABSTRACT: The accuracy of wood volume estimates, using equations and shape factors, in forest management is essential. The objective was to evaluate the accuracy in estimating the volume of *Qualea sp.* by equations and shape factors in the Cerrado-Amazon transition forest. The volume was estimated by single and double-entry equations with cubed data using the Smalian method from 20 commercial (C) and 30 commercial and non-commercial individuals (CNC). The estimation was also carried out using a calculated shape factor and standard shape factor of 0.7, as recommended by legislation. Accuracy was assessed by Bias, Mean of Absolute Differences and Standard Deviation of Differences. The CNC group had an average volume of 2.38 m³ ha⁻¹ and a shape factor of 0.54, while group C had an average volume of 2.88 m³ ha⁻¹ with a shape factor of 0.52. The best models for estimating the volume of CNC and C were Spurr, Spurr-Variable combined and Schumacher-Hall. The calculated shape factor was lower than the standard shape factor 0.7. It is concluded that the models present more accurate estimates and lower errors than estimates with calculated and standard shape factors.

Keywords: stem; forest management; equation; shape factor.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do volume de madeira de uma floresta é importante pois fornece dados para avaliar o potencial de produção dessas áreas e o estoque de madeira, facilitando a tomada de decisão para o manejo e possibilitando melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. A importância da estimativa do volume se deve também ao fato de que a madeira e os produtos florestais estão cada vez mais valorizados devido a necessidade do uso social, ecológico e econômico (MIGUEL et al., 2014). Assim, o cuidado com o planejamento e o uso da madeira requer uma elevada precisão na quantificação em áreas florestais.

Para tal, a quantificação do volume das espécies amazônicas em Planos de Manejo Florestal Sustentável pode ser realizada pelo fator de forma de 0,7 no primeiro Plano

Operacional Anual (POA) e a partir do segundo POA é exigido a estimativa de volume da floresta em pé por equações de volume ajustadas com dados obtidos no primeiro POA (BRASIL, 2009).

As equações de volume e o fator de forma são as maneiras mais práticas e viáveis de se estimar o volume de madeira de uma floresta, porém, deve-se ressaltar que um método pode apresentar maior precisão na estimativa do que outro. As equações de volume podem ser de simples ou dupla entrada, e o fator de forma pode ser o calculado ou o padrão definido pela legislação.

A diferença dos modelos de dupla e simples entrada é a adição da altura como variável independente, contudo ela é difícil de determinar em florestas nativas devido à falta de padrão no espaçamento, heterogeneidade de espécies,

variação na altura do dossel e formação do sub-bosque. Isso afeta a precisão na sua mensuração o que por fim, afeta na estimativa de volume (NASCIMENTO et al., 2020). Por esse motivo, tem-se a necessidade de ajustar e selecionar equações de volume para cada floresta manejada, visto que diferentes condições de clima e solo influenciam na relação entre volume, diâmetro e altura das árvores (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014). Para avaliar e comparar modelos de volume são utilizados o coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa em porcentagem e análise gráfica dos resíduos. Alguns modelos podem resultar em melhores estimativas do que outros dependendo da espécie, local e vários outros fatores, especialmente em florestas nativas, onde há grande heterogeneidade de indivíduos. Desse modo, vários estudos de estimativa de volume foram realizados com diferentes espécies na Floresta Amazônica (GIMENEZ et al., 2015; CALDEIRA et al., 2016; CYSNEIROS et al., 2017; BIAZATTI et al., 2020; ALMEIDA et al., 2021; SILVA et al., 2022).

O cambará (*Qualea sp.*) ocorre na região amazônica, na floresta pluvial de terra firme, sendo encontrado no Mato Grosso, Pará, Acre e com maior frequência no Amazonas (LORENZI, 2002). Essa espécie apresenta grande interesse econômico nos planos de manejo da região amazônica, e por apresentar uma grande frequência de indivíduos, alguns estudos já foram realizados com essa espécie na região (MELO et al., 2015; CALDEIRA et al., 2016; CYSNEIROS et al., 2017; SILVA et al., 2022).

O objetivo do estudo foi avaliar a precisão na estimativa de volume de *Qualea sp.* para indivíduos comerciais e não comerciais utilizando equações de volume e fator de forma na floresta de transição Cerrado-Amazônia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com dados de 30 árvores de *Qualea sp.* obtidos por Curto et al. (2020) em floresta nativa de transição Cerrado-Amazônia com área de 118,57 ha, no município de Sinop, MT ($11^{\circ}36'53,35"S$ e $55^{\circ}23'9,02"W$), localizado à uma altitude de 375 m. O clima local é do tipo Aw de acordo com a classificação de Köppen, apresentando estação chuvosa (outubro e abril) e seca (maio a setembro) bem definidas, com precipitação total anual entre 1.300 e

2.000 mm e temperatura média de 23,5 a 25,5 °C (ALVARES et al., 2013). A fitofisionomia da área se enquadra na floresta Estacional Sempre-Verde (IBGE, 2012).

Os indivíduos de *Qualea sp.* apresentaram amplitude de 36 a 103 cm para diâmetro a 1,30 m de altura (DAP) e amplitude de 8 a 19,6 m para altura comercial. O volume foi determinado por cubagem rigorosa em pé (escalada) pelo método de Smalian utilizando trena e suta em árvores do gênero, selecionadas aleatoriamente. As medições foram realizadas a 0,1 m, 1,30 m de altura e a partir dessa, realizadas a cada dois metros até a altura comercial, registrando-se também o diâmetro no ápice do tronco. A altura comercial foi estabelecida abaixo da primeira bifurcação ou primeiro galho. Após, foi determinado o volume por segmento do tronco e assim, o volume individual das árvores (CURTO et al., 2020).

Os dados foram avaliados em dois grupos considerando a classificação de DAP para árvore comercial ($DAP > 50\text{cm}$) e não comercial ($DAP < 50\text{cm}$), conforme o Diâmetro Mínimo de Corte (DMC) definido na Resolução CONAMA nº 406/2009 (BRASIL, 2009). O primeiro grupo, totalizando 30 indivíduos, foi constituído pelos indivíduos comerciais e não comerciais (CNC), já o segundo, totalizando 20 indivíduos, foi formado somente pelos dados das árvores comerciais (C).

O volume de cada árvore foi estimado pelo fator de forma padrão e fator de forma calculado. Para o fator de forma padrão foi empregado o valor de 0,7 conforme o indicado para espécies amazônicas em Planos de Manejo Florestal Sustentável (BRASIL, 2009). O fator de forma calculado foi determinado pela relação do volume real (cubagem rigorosa em pé) de cada árvore e o volume do cilindro obtido pela área basal da árvore a 1,30 m de altura do solo (CORREIA et al., 2017). Com o fator de forma calculado para cada árvore foi obtido o fator de forma calculado médio para os dois grupos de classificação das árvores (CNC e C).

Além disso, o volume das árvores também foi estimado pelo ajuste e avaliação de onze modelos volumétricos (Tabela 1), sendo desses, quatro de simples entrada (Kopezky-Gehrhardt, Hohenadl e Krenn, Husch e Brenac) e sete de dupla entrada (Spurr sem β_0 , Spurr-Variável combinada, Stoate, Naslund, Meyer, Schumacher-Hall e Spurr).

Tabela 1. Modelos usados para estimar o volume de árvores de *Qualea sp.* em floresta de transição Cerrado-Amazônia.
Table 1. Models used to estimate the volume of *Qualea sp.* trees in Cerrado-Amazon transition forest.

Autores	Modelos volumétricos
Kopezky-Gehrhardt	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \varepsilon$
Hohenadl e Krenn	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$
Husch	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \varepsilon$
Brenac	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \beta_2 \cdot (1/d) + \varepsilon$
Spurr (sem β_0)	$v = \beta_1 \cdot (d^2 h) + \varepsilon$
Spurr-variável combinada	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot (d^2 h) + \varepsilon$
Stoate	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot h + \beta_2 \cdot d^2 + \beta_3 \cdot (d^2 h) + \varepsilon$
Naslund	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 + \beta_2 \cdot (d^2 h) + \beta_3 \cdot (dh^2) + \beta_4 \cdot h^2 + \varepsilon$
Meyer	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot h + \beta_3 \cdot d^2 + \beta_4 \cdot (d^2 h) + \beta_5 \cdot (dh) + \varepsilon$
Schumacher-Hall	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \beta_2 \cdot \ln(h) + \varepsilon$
Spurr	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d^2 h) + \varepsilon$

O ajuste dos modelos foi realizado no Microsoft Excel®, considerando que os modelos logaritmizados (Husch, Brenac, Schumacher-Hall e Spurr) tiveram a correção da discrepância logarítmica pelo fator de correção de Meyer.

A seleção do melhor modelo envolveu a significância dos parâmetros, menor erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$) e o maior coeficiente de determinação ajustado em porcentagem ($R^2_{ajustado}\%$). A significância dos

parâmetros foi obtida pela análise estatística por meio do teste t, ao nível de 95% de probabilidade.

O volume estimado pelos modelos selecionados foi comparado ao volume estimado pelo fator de forma padrão e fator de forma calculado para ambos os grupos de classificação dos indivíduos (CNC e C).

A precisão na estimativa do volume das árvores obtida pelas equações, comparado ao volume obtido pelo emprego do fator de forma padrão e fator de forma calculado foi verificada pela análise gráfica de resíduos, pelos valores relativizados (%) mais próximos a zero da estatística complementar do Viés (V), Média das Diferenças Absolutas

(MD) e Desvio Padrão das Diferenças (DPD), conforme Tabela 2. Quanto a distribuição dos resíduos, foi considerada ideal aquela mais homogênea ou com menor tendência de dispersão. Complementando, o Viés indicou a tendência em sub ou superestimar os resultados quando esses são respectivamente negativos e positivos, já o MD representou a amplitude dos erros e o DPD indicou o quanto homogêneo foram os resíduos.

Por fim, a relativização dos valores foi realizada para facilitar a comparação entre as estimativas e foi obtido pela divisão dos valores pela média do volume real das árvores, multiplicado por 100.

Tabela 2. Estatística complementar na avaliação da estimativa do volume do fuste de árvores de *Qualea* sp. em floresta de transição Cerrado-Amazônica.

Table 2. Complementary statistics in evaluating the estimated volume of the tree stem of *Qualea* sp. in Cerrado-Amazon transition forest.

Estatística	Estimador
Resíduo (%)	$R = \frac{\bar{Y}_i - Y_i}{Y_i}$
Viés (V)	$V = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{Y}_i - \sum_{i=1}^n Y_i}{n}$
Média das Diferenças absolutas (MD)	$MD = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{Y}_i - Y_i }{n}$
Desvio Padrão das Diferenças (DPD)	$DPD = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n d_i^2 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}\right)^2\right)}{n-1}}$

em que: Y_i = valor observado com a cubagem e \bar{Y}_i = valor estimado pelo método; n = número de observações; e $d_i = (Y_i - \bar{Y}_i)$.

3. RESULTADOS

O grupo de indivíduos comerciais e não comerciais (CNC) de *Qualea* sp. apresentou DAP (diâmetro à 1,30 m de altura) médio de 61,7 cm e volume comercial médio de 2,38 m³ com fator de forma calculado médio de 0,54. Já para o grupo de indivíduos apenas comerciais (C), o DAP médio foi de 70,2 cm, com volume comercial médio de 2,88 m³ e fator de forma calculado médio de 0,52.

As equações volumétricas, significância dos parâmetros, estatísticas de erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$) e coeficiente de determinação ajustado em porcentagem ($R^2_{ajustado}\%$) para os grupos de indivíduos CNC e C podem ser conferidos na Tabela 3.

As equações de Brenac, Stoate, Naslund e Meyer para os dois grupos de indivíduos (CNC e C) e as equações de Kopezky-Gehrhardt, Hohenadl e Krenn para grupo dos indivíduos comerciais (C) apresentaram pelo menos um dos parâmetros não significativo, ao nível de 95% de probabilidade, sendo essas desconsideradas nas análises posteriores. As demais equações, para os dois grupos de indivíduos (CNC e C) quando apresentaram p-valor superior ao valor crítico ($\alpha \leq 0,05$), foram apenas para o parâmetro β_0 .

Avaliando os modelos de simples entrada, apenas o modelo de Brenac para o grupo de indivíduos CNC não apresentou significância para os parâmetros conforme o teste t, ao nível de 95% de probabilidade. Para o grupo de indivíduos comerciais (C), os modelos de Kopezky-Gehrhardt, Hohenadl e Krenn e Brenac não foram significativos. No grupo CNC, as demais equações de simples entrada apresentaram S_{yx} superior a 24% e $R^2_{ajustado}$ inferior a 66%. No grupo das comerciais (C), a única equação de simples entrada significativa (Husch) apresentou S_{yx} superior a 25% e $R^2_{ajustado}$ inferior a 18%, demonstrando que a variação dos dados observados não está sendo explicada pela equação ajustada.

Em relação aos modelos de dupla entrada, para os dois grupos de classificação dos indivíduos, três (Stoate, Naslund

e Meyer) não resultaram em significância para os parâmetros conforme o teste t, ao nível de 95% de probabilidade. Para o grupo dos indivíduos CNC, as demais equações de dupla entrada apresentaram S_{yx} inferior a 19% e $R^2_{ajustado}$ superior a 79%. Já para o grupo de indivíduos comerciais (C), os resultados de S_{yx} foram inferiores a 18%, porém, com $R^2_{ajustado}$ a partir de 55%.

Assim, para ambos os grupos de classificação (CNC e C), os modelos de dupla entrada apresentaram superioridade em relação aos modelos de simples entrada. Nesse sentido, os modelos de Spurr-Variável combinada, Schumacher-Hall e Spurr foram os melhores para ambos os grupos de classificação dos indivíduos, em função dos maiores valores de $R^2_{ajustado}\%$ e menores valores de $S_{yx}\%$.

A comparação da estimativa do volume pelas equações e fator de forma padrão e calculado aos grupos de indivíduos CNC e C pode ser visualizada na análise gráfica dos resíduos (Figura 1) e na avaliação da estatística complementar (Tabela 4).

Observando a análise gráfica de dispersão dos resíduos (Figura 1) verifica-se que as equações tiveram tendência a superestimar os menores volumes e subestimar os maiores volumes, independentemente do grupo de indivíduos avaliado. Já o fator de forma padrão (Resolução CONAMA nº 406/2009) manteve tendência de superestimar os volumes para os dois grupos de classificação dos indivíduos (CNC e C) na distribuição residual. Em contrapartida, o fator de forma calculado (Figura 1) apresentou resíduos com menores tendências de dispersão, indicando superioridade quando em relação a estimativa do volume utilizando o fator de forma padrão. Além disso, o desempenho do fator de forma calculado para os dois grupos de classificação (CNC e C) mostrou-se semelhante ao das equações ajustadas.

Analizando os resultados da estatística complementar (Tabela 4) nota-se que esses reafirmam os resultados da análise gráfica de resíduos (Figura 1), de modo que se verifica maiores valores de V (maior tendência a superestimar, já que

foi positivo) e maior MD (amplitude de erros) para o fator de forma padrão, independentemente do grupo de classificação dos indivíduos (CNC e C). Quanto ao DPD, o baixo valor em relação as demais estatísticas, reflete o fato de os resíduos serem homogêneos ao longo da distribuição no eixo x.

Os modelos de dupla entrada apresentaram desempenho superior aos modelos de simples entrada, quando considerado o Viés (V) mais próximo de zero e os menores valores da Média das Diferenças absolutas (MD) e do Desvio Padrão das Diferenças (DPD). Os modelos de Spurr-Variável combinada, Schumacher-Hall e Spurr, para ambos os grupos de indivíduos (CNC e C) apresentaram os melhores resultados, comprovando os resultados obtidos anteriormente pelo $R^2_{ajustado}\%$ e $S_{yx}\%$ (Tabela 3). O fator de

forma padrão apresentou um alto valor de Viés (V) e Média das Diferenças absolutas (MD) quando comparado ao fator de forma calculado ou aos modelos, indicando que o fator de forma padrão 0,7 teve alta tendência a superestimativa e maior amplitude de erros.

Já as equações de Spurr-Variável combinada, Schumacher-Hall e Spurr e o fator de forma calculado apresentaram valores relativamente próximos para os dois grupos de classificação dos indivíduos (CNC e C). No entanto, essas equações apresentaram Viés (V) mais próximo de zero quando comparado ao fator de forma padrão e o calculado, indicando que essas equações são recomendadas por terem menores tendências a subestimar ou superestimar os valores de volume.

Tabela 3. Coeficientes e medidas de precisão (R^2 ajustado % e $S_{yx}\%$) dos modelos volumétricos ajustados ao grupo dos indivíduos comerciais e não comerciais (CNC) e comerciais (C) de *Qualea* sp. em floresta de transição Cerrado-Amazônia.

Table 3. Coefficients and precision measures (adjusted $R^2\%$ and $S_{yx}\%$) of the volumetric models adjusted to the group of commercial and non-commercial (CNC) and commercial (C) individuals of *Qualea* sp. in Cerrado-Amazon transition forest.

Modelos	Indivíduos comerciais e não comerciais (CNC)						$R^2_{ajustado}\%$	$S_{yx}\%$
	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$		
Kopezky-Gehrhardt	-0,8035 ^{ns}	0,0516					60,50	25,86
Hohenadl e Krenn	-3,8415	0,1520	-0,0008				65,93	24,02
Husch	-5,5067	1,5354					56,14	27,74
Brenac	4,6252 ^{ns}	-0,4645 ^{ns}	-113,1314 ^{ns}				66,64	24,63
Spurr (sem β_0)		3,9534E-05					79,27	18,74
Spurr-Variável combinada	0,4181	3,3562E-05					81,76	17,57
Stoate	2,2265	-0,1245 ^{ns}	-0,0004	0,0001			83,46	16,74
Naslund	0,1260 ^{ns}	-0,0002 ^{ns}	1,6909E-05 ^{ns}	0,0039 ^{ns}	-0,0063		84,24	16,34
Meyer	-7,8130 ^{ns}	0,2893 ^{ns}	0,5072 ^{ns}	-0,0024 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	-0,0184 ^{ns}	84,28	16,32
Schumacher-Hall	-17,6199	3,5770	2,0001				82,95	17,61
Spurr	-8,4431	0,8486					82,97	17,28
Indivíduos comerciais (C)								
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$R^2_{ajustado}\%$	$S_{yx}\%$
Kopezky-Gehrhardt	0,4719 ^{ns}	0,0343 ^{ns}					15,04	24,89
Hohenadl e Krenn	-8,9429 ^{ns}	0,2827	-0,0016 ^{ns}				25,86	23,26
Husch	-3,5033 ^{ns}	1,0666					17,49	25,21
Brenac	27,2833 ^{ns}	-4,7450 ^{ns}	-423,1738 ^{ns}				33,47	23,29
Spurr (sem β_0)		3,9091E-05					55,79	17,96
Spurr-Variável	0,7472 ^{ns}	2,9520E-05					60,87	16,89
Stoate	3,1648 ^{ns}	-0,1836 ^{ns}	-0,0006 ^{ns}	0,0001			64,51	16,09
Naslund	0,8162 ^{ns}	-0,0005 ^{ns}	4,0425E-05 ^{ns}	0,0044 ^{ns}	-0,0120 ^{ns}		68,03	15,27
Meyer	-28,5179 ^{ns}	0,9134 ^{ns}	2,3632 ^{ns}	-0,0071 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	-0,0749 ^{ns}	63,77	16,26
Schumacher-Hall	-7,1102	1,3961	0,8306				66,17	16,61
Spurr	-7,4238	0,7578					64,02	16,65

em que: ns não significativo a 95% de probabilidade pelo teste *t*. Equações destacadas em cinza são significativas.

Tabela 4. Modelos usados para estimar o volume de árvores de *Qualea* sp. ao grupo dos indivíduos comerciais e não comerciais (CNC) e comerciais (C) em floresta de transição Cerrado-Amazônica.

Table 4. Models were used to estimate the volume of *Qualea* sp. trees to the group of commercial and non-commercial (CNC) and commercial (C) individuals in the Cerrado-Amazonia transition forest.

Modelo	Comercial e não comercial (CNC)			Comercial (C)		
	V (%)	MD (%)	DPD (%)	V (%)	MD (%)	DPD (%)
Kopezky-Gehrhardt	0,00000	19,03	25,86	—	—	—
Hohenadl e Krenn	-0,00000	17,81	24,02	—	—	—
Husch	0,47740	19,15	27,73	0,5729	19,46	25,20
Spurr (sem β_0)	-2,91195	12,91	18,50	-1,9090	13,00	17,85
Spurr-Variável combinada	0,00000	12,90	17,57	-0,0000	13,18	16,89
Schumacher-Hall	0,21877	12,06	17,61	0,1668	11,97	16,61
Spurr	0,17834	12,06	17,28	0,1349	12,57	16,64
Fator de forma padrão (0,7)	35,0138	35,22	6,34	25,3033	25,30	5,83
Fator de forma calculado	3,3627	11,75	21,22	1,4022	8,10	16,02

em que: V = Viés; MD = Média das Diferenças absolutas; DPD = Desvio Padrão das Diferenças; Valores destacados em cinza apresentaram melhor desempenho.

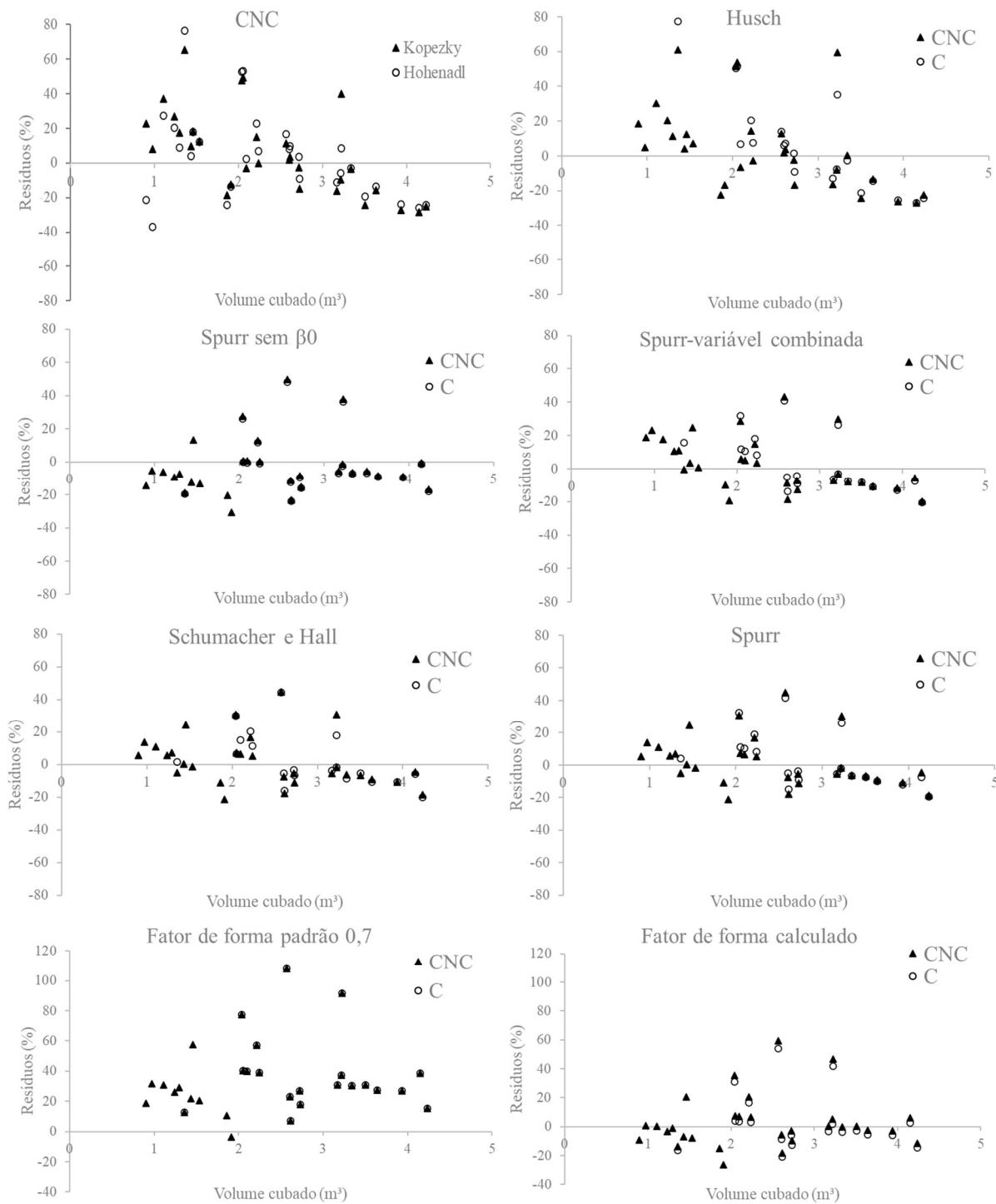


Figura 1. Resíduos da estimativa do volume de *Qualea sp.* por equações de volume e pelo fator de forma padrão e calculado ao grupo dos indivíduos comerciais e não comerciais (CNC) e comerciais (C) de *Qualea sp.* em floresta de transição Cerrado-Amazônia.

Figure 1. Residuals from the volume estimate of *Qualea sp.* by volume equations and the standard shape factor and calculated for the group commercial and non-commercial (CNC) and commercial (C) individuals of *Qualea sp.* in Cerrado-Amazon transition forest.

4. DISCUSSÃO

As equações de volume são utilizadas nos planos de manejo florestal, contudo é essencial ajustá-las para diferentes espécies, regiões e tipos fisionômicos. O ajuste de modelos é uma opção que pode resultar em melhor precisão quando comparada ao fator de forma, devendo ser testada por sua exigência no segundo Plano Operacional Anual (POA) conforme Resolução CONAMA nº 406/2009 (BRASIL, 2009). Dessa forma, uma maneira de obter informações fidedignas da floresta nativa é por meio de

equações de volume, sendo que essa escolha deve-se fundamentar em equações com poucos parâmetros e/ou associadas a variáveis de fácil obtenção, bem como com alta precisão (ALMEIDA et al., 2020).

As equações com parâmetros não significativos foram eliminadas no presente estudo, uma vez que valores significativos destes refletem na importância da variável independente no processo de estimativa das variáveis dependentes. Em modelos de regressão, cada parâmetro relacionado as variáveis independentes ($\beta_1 \dots \beta_n$),

demonstram a inclinação da variável dependente (Y) em relação à variável independente (X) a ele associada, já o parâmetro β_0 simboliza o valor de Y quando as variáveis independentes (X s) são iguais a zero, sendo a interseção de Y (LEVINE et al., 2000). O parâmetro β_0 não está diretamente ligado a nenhum valor de X , portanto, caso este não seja significativo, não afetará a estimativa da variável.

O modelo de Spurr seria o melhor entre todos os modelos ajustados (Tabela 3), devido aos maiores valores de $R^2_{ajustado}$ e os menores valores de S_{yx} . No entanto, esse seria um julgamento incompleto, pois a interpretação da análise gráfica de resíduos é tão importante quanto uma análise estatística consistente e as relações das variáveis nella contidas, além da representatividade dessas variáveis com as características de cada área (GIMENEZ et al., 2015).

A superioridade dos modelos de dupla entrada em relação aos de simples entrada, pode ser atribuída ao fato de que árvores de mesmo diâmetro não apresentam a mesma altura, principalmente em florestas heterogêneas (LIMA et al., 2019; NASCIMENTO et al., 2020; BIAZATTI et al., 2020; ALMEIDA et al., 2021). Essa alegação foi corroborada por estudos que alcançaram melhores ajustes de volume em árvores da Floresta Amazônica ao empregarem a altura comercial como variável independente (BIAZATTI et al., 2020; ALMEIDA et al., 2021; SILVA et al., 2022). No entanto, deve-se ressaltar que a mensuração da altura comercial pode ser prejudicada nas florestas tropicais devido à elevada quantidade de estratos arbóreos, o que reflete diretamente na incerteza de suas estimativas, devido ao aumento do erro do tipo não amostral (LIMA et al., 2021).

Os modelos que resultaram em melhor precisão nesse estudo para ambos os grupos de indivíduos, comerciais e não comerciais (CNC) e apenas comerciais (C) foram os mesmos modelos indicados para estimativa volumétrica de espécies comerciais ou grupos de espécies comerciais em áreas de manejo na Floresta Amazônica, sendo os modelos de Spurr, Schumacher-Hall e Spurr-Variável combinada, todos de dupla entrada (CYSNEIROS et al., 2017).

Corroborando com o presente estudo, a equação de Schumacher-Hall tem sido selecionada para estimativa do volume em diferentes regiões da Amazônia, nos estados do Pará, Mato Grosso e Amazonas (BIAZATTI et al., 2020; LEÃO et al., 2021; ALMEIDA et al., 2021; SILVA et al., 2022).

Entre os diversos modelos existentes para estimar o volume de madeira, o modelo proposto por Schumacher e Hall (1933) tem sido um dos mais eficientes na área florestal, por suas propriedades estatísticas, uma vez que resulta em estimativas quase sempre não tendenciosas (CAMPOS; LEITE, 2017), conforme observado no presente estudo para o grupo de indivíduos comerciais. Quando comparado aos demais modelos testados, somente o de Schumacher e Hall (1933) estima o volume utilizando o DAP e a altura nas formas originais, esse pode ser um dos motivos de sua superioridade pois acaba gerando um parâmetro para cada variável e mantendo a mesma estrutura da fórmula do volume do cilindro, porém, com a correção da forma distribuída nas potências de cada uma das variáveis do modelo e também na constante que gera a base do cilindro (SILVA et al., 2022).

O modelo ajustado de Schumacher-Hall ($R^2_{ajustado} = 82,95\%$, $S_{yx} = 17,61\%$) apresentou elevada precisão considerando o cenário de mata nativa amostrado/análise,

assim como também apresentou maior precisão para um grupo de espécies, considerando a espécie *Qualea albiflora* ($R^2_{ajustado} = 93,00\%$, $S_{yx} = 15,07\%$), em uma área de manejo florestal na Amazônia Mato-Grossense, no entanto, sendo recomendado na ocasião o modelo de simples entrada de Hohenadl ($R^2_{ajustado} = 85,00\%$, $S_{yx} = 23,00\%$) devido à altura para espécies amazônicas ser de difícil mensuração (LANSSANOVA et al., 2018).

Outros trabalhos foram realizados para estimar o volume do gênero *Qualea* na região amazônica (CALDEIRA et al., 2016; CYSNEIROS et al., 2017). Ao estimar o volume comercial em floresta nativa para 32 espécies, sendo uma delas a *Qualea paraensis*, foi identificado que o modelo de Spurr variável combinada resultou no melhor desempenho ($R^2_{ajustado} = 69,10\%$, $S_{yx} = 22,02\%$) para a espécie, e o modelo de Schumacher-Hall foi o indicado para todas as espécies (CYSNEIROS et al., 2017). Também corroborando os resultados do presente estudo, o modelo de Spurr variável combinada ($R^2_{ajustado} = 89,90\%$, $S_{yx} = 10,78\%$) foi o que apresentou melhores ajustes na estimativa do volume comercial para *Qualea paraensis* Ducke e *Erisma uncinatum* em floresta nativa na região amazônica do estado de Mato Grosso (CALDEIRA et al., 2016).

Utilizando o método para estimativa do volume com o fator de forma padrão 0,7 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 406/2009 (BRASIL, 2009), o qual é utilizado no cálculo de volume para todas as espécies passíveis de corte ($DAP \geq 50$ cm), que correspondem ao grupo de indivíduos comerciais estabelecidos no presente trabalho, deve-se atentar para possíveis erros. Isso porque, cada espécie apresenta diferentes características, como a forma das árvores, irregularidades no fuste, além da variação de amplitude do diâmetro de amostragem, que influenciam na estimativa do fator de forma médio da floresta (COGO et al., 2020). Desse modo, evidencia-se a necessidade de obtenção do fator de forma específico por espécie e local.

Em estudo na região amazônica para o mesmo gênero (*Qualea albiflora*), Lanssanova et al. (2018) encontraram um fator de forma médio de 0,71, correspondendo ao estabelecido pela legislação, já no presente estudo, o fator de forma médio calculado para indivíduos comerciais ($DAP \geq 50$ cm) de *Qualea* sp. foi de 0,52, sendo inferior ao valor estabelecido por lei. Essa diferença está relacionada a forma da árvore, que ocorre, devido à diminuição do diâmetro em direção ao topo da árvore, afetando diretamente o volume das árvores. O fator de forma varia conforme a espécie, mas também conforme a idade, a densidade de indivíduos e as condições do ambiente e de suas aptidões genéticas (COGO et al., 2020).

Além disso, no norte do Estado do Mato Grosso foi registrado um fator de forma calculado superior aos valores de 0,80 para as espécies *Ocotea puberula*, *Apuleia leiocarpa*, *Aspidosperma eburneum* e *Hymenolobium petraeum*, de 0,76 para *Qualea paraenses*, e de 0,79 para o mix de onze espécies (SILVA et al., 2022), comprovando que o fator de forma padrão (0,7) não estima com precisão o volume para todas as espécies.

Em estudos do fator de forma em unidades de manejo florestal no Mato Grosso, Gimenez et al. (2015) e Lanssanova et al. (2018) obtiveram um fator de forma médio de 0,73 para espécies agrupadas, sendo esses resultados próximos ao fator de forma padrão 0,7 da legislação. Assim, é possível notar que o fator de forma padrão de 0,7 pode resultar em estimativas precisas para algumas espécies ou

para o agrupamento delas, mas pode resultar em erros de estimativa, como observado para *Qualea sp.* nesse estudo.

Ao se comparar os métodos de estimativa de volume abordados no presente estudo, nota-se que o fator de forma padrão e o calculado apresentam desempenho inferior ao das equações ajustadas quando comparados os resíduos das estimativas, apresentando um maior número de volumes superestimados. Desse modo, fica demonstrado que o fator de forma deve ser utilizado em situações de estimativas que não necessitam de alta precisão, do contrário, quando for necessário estimativas mais precisas, recomenda-se a aplicação das equações de volume (CORREIA et al., 2017).

5. CONCLUSÕES

Os modelos ajustados apresentam superioridade ao fator de forma nas estimativas do volume de *Qualea sp.* para ambos os grupos de indivíduos, comerciais e não comerciais (CNC) e apenas comerciais (C).

Os modelos de Spurr-Variável combinada, Schumacher-Hall e Spurr apresentam melhores resultados na estimativa de volume.

O fator de forma calculado gera estimativas mais precisas de volume quando comparado ao uso do fator de forma padrão determinado pela legislação.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, B. R. S.; CRUZ, G. S.; NICOLETTI, M. F.; GAMA, J. R. V.; LIMA, B. A.; PECH, T. M. Efficiency of volumetric equations for *Couratari guianensis* Aubl. in different scenarios in the National Forest of Tapajos. *Scientia Forestalis*, v. 49, n. 130, e3503, 2021. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n130.11>
- ALMEIDA, M. R. D.; SILVA, J. N. M.; BARROS, P. L. C.; ALMEIDA, E. S.; SILVA, D. A. S.; SOUZA, C. S. C. Ajuste e seleção de modelos volumétricos de espécies comerciais no município de Ipixuna (PA). *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 13, n. 1, p. 259-278, 2020. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n1p259-278>
- ALVARES, 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. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BIAZATTI, S. C.; SCCOTTI, M. S. V.; BRITO JÚNIOR, J. F.; MÔRA, R.; CARDozo, G. H. Eficiência de métodos para estimativa volumétrica de espécies nativas na Amazônia Ocidental. *Nativa*, v. 8, n. 2, p. 253-259, 2020. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v8i2.8081>
- BRASIL (2009). **Resolução CONAMA n. 406**, de 02 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável-PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia.
- CALDEIRA, G. V.; MAMORÉ, F. M. D.; SILVA, R.; GAVA, F. H.; FAVALLESSA, C. M. C.; MORA, R.; DRESCHER, R. Volume equations for *Qualea paraensis* and *Erisma uncinatum* in the north of Mato Grosso state, Brazil. *Nativa*, v. 4, n. 4, p. 249-252, 2016. <https://doi.org/10.31413/nativa.v4i4.3669>
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5 ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 636p.
- COGO, V. Z.; MULLER, I.; JUNIOR, F. J. M.; ANSUJ, A. P. Ajuste de modelos para determinar a forma do tronco em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Ciência e Natura*, v. 42, 2020. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X40385>
- CORREIA, J.; FANTINI, A.; PIAZZA, G. Equações Volumétricas e Fator de Forma e de Casca para Florestas Secundárias do Litoral de Santa Catarina. *Floresta e Ambiente*, v. 24, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.023715>
- CURTO, R. A.; ANJOS, A. F. T.; ARAÚJO, E. J. G.; WINK, C.; KOHLER, S. V. Influência da distância na exatidão da cubagem não destrutiva de *Qualea sp.* no bioma Amazônia. *Nativa*, v. 8, n. 5, p. 663-670, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i5.10843>
- CYSNEIROS, V. C.; PELISSARI, A. L.; MACHADO, A. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SOUZA, L. Modelos genéricos e específicos para estimativa do volume comercial sob concessão na Amazônia. *Scientia Forestalis*, v. 45, n. 114, p. 295-304, 2017. <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n114.06>
- GIMENEZ, B. O.; DANIELLI, F. E.; OLIVEIRA, C. K. A.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Equações volumétricas para espécies comerciais madeireiras do sul do estado de Roraima. *Scientia Forestalis*, v. 43, n. 106, p. 291-301, 2015.
- IBGE_Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências, 2012. 271p.
- LANSSANOVA, L. R.; SILVA, F. A.; SCHONS, C. T.; PEREIRA, A. C. S. Comparação entre diferentes métodos para estimativa volumétrica de espécies comerciais da Amazônia. *Biofix Scientific Journal*, v. 3, n. 1, p. 109-115, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.57489>
- LEÃO, F. M.; NASCIMENTO, R. G. M.; EMMERT, F.; SANTOS, G. C. A.; CALDEIRA, N. A. M.; MIRANDA, I. S. How many trees are necessary to fit an accurate volume model for the amazon forest? A site-dependent analysis. *Forest Ecology and Management*, v. 480, e15118652, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118652>
- LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Estatística: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000. 811p.
- LIMA, R. B.; GÖRGENS, E. B.; ELIAS, F.; ABREU, J. C.; BAIA, A. L.; OLIVEIRA, C. P.; SILVA, D. A. S.; BATISTA, A. P. B.; LIMA, R. C.; SOTTA, E. D.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; GUEDES, M. C. Height-diameter allometry for tropical forest in northern Amazonia. *Plos One*, v. 16, n. 12, e0255197, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255197>
- LIMA, R. B.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; GUEDES, M. C.; OLIVEIRA, C. P.; SILVA, D. A. S.; SANTOS, R. M.; CARVALHO, E. P. F.; SILVA, R. M. A. Lumber volume modeling of Amazon Brazilian species. *Journal of Sustainable Forestry*, v. 38, n. 3, p. 262-274, 2019.

- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: manual de identificação e cultivos de plantas arbóreas do Brasil. 2ed. São Paulo: Nova Odessa, 2002. 368p.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 3 ed. Guarapuava: Unicentro, 2014. 316p.
- MELO, R. R.; PASTORE, K. C.; MASCARENHAS, A. R. P.; ACOSTA, F. C.; PEDROSA, T. D.; SERENINI, J. L. Vouchers for releasing forestry credit (CLCF) for Sinop, Mato Grosso. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 36-43, 2015. <https://doi.org/10.31413/nativa.v3i1.1996>
- MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ONO, H. A.; LEAL, U. A. S. Modelagem na predição do volume individual em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 32, n. 4, p. 584-598, 2014.
- NASCIMENTO, R. G. M., VANCALY, J. K.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; RUSCHEL, A. D.; HIRAMATSU, N. A.; FREITAS, L. J. M. The tree height estimated by non-power models on volumetric models provides reliable predictions of wood volume: The Amazon species height modelling issue. **Trees, Forests and People**, v. 2, e100028, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100028>
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.
- SILVA, I. C. O.; GARLET, J.; MORAIS, V. A.; ARAÚJO, E. J. G.; SILVA, J. R. O.; CURTO, R. A. C. Equations and form factor by species increase the precision and accuracy for estimating tree volume in the Amazon. **Floresta**, v. 52, n. 2, p. 268-276, 2022. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v52.i2.76559>.

Contribuição dos autores: C.W.: conceitualização, metodologia, análise estatística, administração ou supervisão, validação, redação (original), redação (revisão e edição); L.K.A.: metodologia, análise estatística, administração ou supervisão, redação (original); A.F.T.A.: investigação ou coleta de dados, redação (original); E.J.G.A.: metodologia, análise estatística, validação, redação (revisão e edição); R.A.C.: conceitualização, metodologia, investigação ou coleta de dados, análise estatística, administração ou supervisão, validação, redação (original), redação (revisão e edição).

Financiamento: Não aplicável.

Revisão por comitê institucional: Não aplicável.

Comitê de Ética: Não aplicável.

Conflito de interesses: Os autores declararam não haver conflitos de interesses.