

EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS PARA TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS COMERCIAIS DA AMAZÔNIA

VOLUME EQUATIONS FOR THREE COMMERCIAL TREE SPECIES IN AMAZONIA

Sebastião Martins Barbosa Júnior¹, Thelma Shirlen Soares², Edmilson Santos Cruz³

^{1,2,3}Universidade Federal de Jataí, Jataí, Goiás, Brasil – sebastiaomartinsbj@gmail.com,
thelmasoares@ufj.edu.br, edmilson-santos_cruz@ufj.edu.br

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram ajustar modelos volumétricos de simples e dupla entradas, analisar as observações influentes e validar as equações para três espécies comerciais do bioma amazônico. Foram obtidas as estatísticas descritivas e a correlação linear de Pearson para as variáveis DAP, HC e VC das espécies *Hura crepitans* L. (assacu), *Cedrela odorata* L. (cedro-rosa) e *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. (sumáuma) e ajustados 13 modelos volumétricos de simples e de dupla entradas, incluindo a análise de observações influentes por meio dos resíduos padronizados, da estatística DFFITS e dos elementos da diagonal principal da matriz H. Após a análise das observações influentes, foi selecionada a melhor equação para cada espécie de acordo com o coeficiente de determinação ajustado, o erro padrão da estimativa, a estatística PRESSp e a análise gráfica dos resíduos. A validação das equações selecionadas foi realizada pelo teste qui-quadrado, comparando-se os volumes cubados e estimado pela equação e os volumes obtidos pelo fator de forma 0,7 e o estimado pela equação. Foi selecionada a equação obtida pelo ajuste do modelo de Husch para assacu, do modelo de Meyer modificado para cedro-rosa e o modelo de Berkhoult para sumáuma. Não houve diferença significativa ($\alpha \leq 0,01$) entre as estimativas produzidas pelas equações selecionadas e os volumes observados das três espécies. Para as estimativas produzidas pelas equações em relação ao fator de forma 0,7, houve diferença significativa ($\alpha \leq 0,01$) apenas para o assacu. A análise de observações influentes contribuiu para melhoria das equações produzidas e validadas para as espécies comerciais deste estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos volumétricos, Observações influentes, Plano de Manejo Florestal Sustentável.

ABSTRACT

The objectives of this study were to adjust single- and double-input volumetric models, analyze the influential observations and validate the equations for three commercial species from the Amazon biome. Descriptive statistics and Pearson's linear correlation were obtained for the variables DBH, HC and VC of the species *Hura crepitans* L. (assacu), *Cedrela odorata* L. (cedro-rosa) and *Ceiba pentandra* L.) Gaertn. (sumáuma) and 13 single- and double-input volumetric models were adjusted, including the analysis of influential observations using the standardized residuals, the DFFITS statistic and the elements of the main diagonal of the H matrix. After analyzing the influential observations, the best equation was selected for each species according to the adjusted coefficient of determination, the standard error of the estimate, the PRESSp statistic and the graphical analysis of the residuals. The selected equations were validated using the chi-square test, comparing the volumes cubed and estimated by the equation and the volumes obtained using the 0.7 shape factor and those estimated by the equation. The equation obtained by adjusting the Husch model for assacu, the modified Meyer model for cedro-rosa and the Berkhoult model for sumáuma was selected. There was no significant difference ($\alpha \leq 0.01$) between the estimates produced by the selected equations and the observed volumes of the three species. For the estimates produced by the equations in relation to the 0.7 form factor, there was a significant difference ($\alpha \leq 0.01$) only for assacu. The analysis of influential observations helped to improve the equations produced and validated for the commercial species in this study

KEYWORDS: Volumetric models, Influential observations, Sustainable Forest Management Plan.

INTRODUÇÃO

A exploração madeireira na Amazônia começou há aproximadamente 300 anos, concentrando-se em um pequeno grupo de espécies próximo aos rios e com destino ao comércio europeu. No entanto, a partir de década de 1960, com a abertura de grandes estradas oficiais, teve-se acesso à outras espécies de interesse madeireiro, o que resultou em uma intensa atividade predatória acompanhada aos interesses do aumento territorial disponível para o cultivo de outras culturas vegetais e animais. Esse processo desenfreado e predatório, alinhado à falta de adoção de princípios e fundamentos do manejo florestal sustentável, provocou exaustão dos recursos naturais nessas regiões. Com isso, ocorreu um processo migratório das empresas do setor florestal para áreas mais centrais, diminuindo o consumo de madeira nos últimos 20 anos para 10 milhões de metros cúbicos e atendendo as demandas de forma mais sustentável (VALDIONES et al., 2022).

Diante da necessidade de estabelecer critérios para a exploração de forma sustentável e almejando a preservação dos recursos florestais, houve a necessidade de regulamentar a atividade florestal estabelecendo-se o Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), o qual fomenta o desenvolvimento econômico e assegura o direito ao meio ambiente equilibrado e o acesso aos bens e serviços florestais (GOMES et al., 2018; OLIVEIRA, 2022).

De acordo com Oliveira (2022), as práticas de utilização dos recursos florestais e as diretrizes para elaboração do PMFS começaram a serem regulamentadas desde o Código Florestal de 1965, com a Lei 4.771. desde então, tem passado por melhorias no desenvolvimento de metodologias e legislações mais assertivas, tendo marcos legais importantes a partir de 2006. As diretrizes elaboradas tiveram como propósito principal definir os procedimentos técnicos para construção, apresentação, execução e avaliação de planos de manejo, como a Instrução Normativa 5 de dezembro de 2006 (BRASIL, 2006), e a Instrução Normativa 1 de setembro de 2007 (BRASIL, 2007). Outro marco legal foi a Resolução 406 de fevereiro de 2009, instituída pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), que em seu 10º artigo estabelece a obrigatoriedade do cálculo do volume de árvores em pé a partir do segundo Plano Operacional Anual (POA) dos PMFSs da Amazônia por meio de equações volumétricas do local (BRASIL, 2009).

Nesse sentido, segundo Santos et al. (2018), “na Amazônia, a diversidade de espécies que constituem o bioma, associada a heterogeneidade entre árvores com

altura e diâmetro diferentes, é mais adequado o ajuste de modelos para gerar equações de volume de forma individual para as espécies”, fato esse corroborado por Tonini & Borges (2015), Cysneiros et al. (2017) e Gomes et al. (2018), ao afirmarem que o emprego de modelos volumétricos ajustados por região, espécie, tipo fisionômico e por classe diamétrica são essenciais porque permitem estimativas mais precisas capazes de embasar o planejamento e a execução do PMFS.

A qualidade das estimativas volumétricas depende da acurácia com que são determinados os volumes individuais das árvores. Para as equações de dupla entrada é necessária a aferição da altura das árvores, que ainda é comumente obtida por estimativas visuais em inventários florestais na Amazônia, justificado pela dificuldade em obter a variável por meios indiretos, o que pode influenciar negativamente a acurácia e precisão desses valores devido à fatores como heterogeneidade da floresta, sobreposição de copas, espaçamentos assimétricos e características fenotípicas das espécies (HIRAMATSU, 2008; BIAZATTI et al., 2020; CARDOSO, 2022). Além disso, outros fatores estão relacionados à capacidade e experiência da equipe mensuradora que, se não treinados adequadamente, geram muitos erros no levantamento dos dados, justificando a necessidade de investimento em aperfeiçoamento dessas equipes de manejadores a fim de reduzir as estimativas imprecisas (GOMES et al., 2018). Ademais, como alternativa para melhoria de aferição da altura, Ribeiro et al. (2014) e Biazatti et al. (2020) sugeriram que é possível utilizar a soma do comprimento das toras em romaneio para o valor de altura comercial a ser utilizado no ajuste de modelos volumétricos.

Segundo Figueiredo et al. (2014), outra possibilidade para estimar o volume individual é o emprego do fator de forma, o qual possibilita maior agilidade no processo porque requer apenas a quantificação do volume do cilindro e do volume cubado. E na Amazônia Legal é padronizado para todas as espécies o uso do fator de forma 0,7 desde os estudos de Heinsdijk & Bastos (1963). No entanto, apesar de ser aceito e muito utilizado, o emprego desse valor para qualquer espécie é equivocado devido à grande variação na forma do fuste entre as espécies e entre indivíduos da mesma espécie, além de fatores ambientais que podem condicionar a forma dos fustes, comprometendo a acuracidade das medidas de volume ao gerar subestimativas e, ou, superestimativas (TONINI; BORGES, 2015; BIAZATTI et al., 2020).

Tendo em vista os aspectos supracitados, os objetivos do presente estudo foram ajustar modelos volumétricos, incluindo a análise de observações influentes, e realizar a

validação das equações para três espécies comerciais da Amazônia.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo foi uma Unidade de Produção Anual (UPA) de 1560,9 ha de um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) executado no município de Bujari, AC, localizado nas coordenadas 9°49'22" de latitude e 67°56'51" de longitude.

A região em que está inserida a referida UPA apresenta clima do tipo Am (ALVARES et al., 2014) e, de acordo com o Zoneamento Ecológico e Econômico do Estado do Acre (ACRE, 2006), a região apresenta duas estações bem definidas, sendo a estação chuvosa, conhecida como inverno amazônico e com duração aproximada de seis meses, e a estação seca, a qual comumente apresenta fenômenos efêmeros como a friagem, resultante do avanço de frentes polares.

A pluviosidade varia de 1900 mm a 2000 mm, com período chuvoso normalmente de outubro a maio, e a umidade relativa do ar é bastante elevada, variando de 85% a 90%. A vegetação predominante no município de Bujari é a floresta aberta com palmeiras e a floresta densa, cujos solos dominantes na mesma região são Argissolos, Alissolos, Neossolos e Gleissolos (ACRE, 2006).

Obtenção dos dados

Os dados analisados neste estudo foram obtidos em dois momentos distintos da elaboração e execução do referido PMFS:

- obtenção dos dados do censo florestal que constitui parte das atividades do microplanejamento, fase pré-exploratória, para a elaboração do PMFS;
- obtenção dos dados do romaneio (cubagem das árvores exploradas) que ocorre durante a execução da exploração florestal (fase exploratória, operações de pátio), os quais são utilizados para a elaboração do relatório de atividades ou pós-exploratório.

Especificamente do inventário censitário, que correspondeu ao levantamento de todas as árvores comerciais com diâmetro a altura do peito (DAP) medido a 1,30 m do solo maior ou igual a 30 cm, foram utilizados os seguintes dados:

- Identificação das árvores inventariadas, cujos nomes científicos e famílias ocorreu por meio de consultas às listas comumente utilizadas em planos e manejo no Acre, publicadas pela Embrapa Acre (ARAÚJO & SILVA, 2000);

- Circunferência à altura do peito (CAP), medida a 1,30 m do solo;
- Altura comercial (HC).

No romaneio foram obtidos os dados da cubagem das árvores exploradas de acordo com o método de Smalian, sendo obtidas as seguintes informações de cada tora, com controle por espécie e por árvore:

- Posição da tora na árvore, marcadas com as letras do alfabeto no sentido base-ápice;
- Dois diâmetros ortogonais medidos nas duas extremidades de cada tora;
- Comprimento da tora.

Análise dos dados

O processamento dos dados da cubagem gerou ou volume comercial observado por árvore, o qual correspondeu à variável dependente de todos os modelos de regressão deste estudo (volume comercial com casca - VC), enquanto as variáveis independentes destes modelos foram os valores de DAP e HC das árvores exploradas.

De todas as espécies presentes da UPA estudada, inicialmente foram selecionadas as três espécies que apresentaram o maior número de árvores, sendo *Hura crepitans* L. (assacu), *Cedrela odorata* L. (cedro-rosa) e *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. (sumáuma).

Para cada uma das três espécies foram geradas as medidas básicas da estatística descritiva, isto é, média, desvio padrão, coeficiente de variação e valores máximo e mínimo para as variáveis DAP, HC e VC. Analisou-se, também, a correlação linear de Pearson dessas três variáveis e aplicou-se o teste de hipóteses das correlações (teste t de Student) ao nível de probabilidade de confiança de 99%. A classificação das correlações foi realizada conforme recomendada por Callegari-Jacques (2003).

As análises estatísticas descritivas e de correlação foram realizadas por meio da utilização da ferramenta de Análise de Dados do software Microsoft Office Excel, versão 2019.

Ajuste de modelos volumétricos

Foram testados 13 modelos volumétricos lineares e não lineares (Tabela 1) disponíveis em Scolforo (2005) e Schneider et al. (2009), sendo modelos de simples entrada que estimam o volume em função de uma única variável independente, nesse caso, o DAP, e modelos de dupla entrada, os quais estimam o volume em função de duas ou mais variáveis, neste caso, o DAP e a HC. Todos os ajustes foram realizados no software *Statgraphics Centurion 19*, versão 19.2.01.

Tabela 1. Modelos volumétricos para a estimativa do volume comercial em um PMFS no município de Bujari, AC.

Modelo	Autor(es)	Função matemática
1	Kopezky-Gehrhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \varepsilon_i$
2	Hohenadl-Krenn	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_3 DAP^2 + \varepsilon_i$
3	Berkhout	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \varepsilon_i$
4	Husch	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \varepsilon_i$
5	Brenac	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \beta_2 (1/DAP) + \varepsilon_i$
6	Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 HC + \varepsilon_i$
7	Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 HC + \beta_3 HC + \varepsilon_i$
8	Naslund	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 HC + \beta_3 DAP HC^2 + \beta_4 HC^2 + \varepsilon_i$
9	Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAP HC + \beta_4 DAP^2 HC + \beta_5 HC + \varepsilon_i$
10	Meyer modificado	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAP HC + \beta_4 DAP^2 HC + \varepsilon_i$
11	Schumacher e Hall linearizado	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \beta_2 \ln HC + \varepsilon_i$
12	Spurr logarítmico	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln (DAP^2 HC) + \varepsilon_i$
13	Schumacher e Hall	$V = \beta_0 DAP^{\beta_1} HC^{\beta_2} + \varepsilon_i$

Em que: DAP - diâmetro à altura do peito (cm), medido à 1,30 m em relação ao nível solo; HC - altura comercial (m); V - volume comercial (m^3); ln - logaritmo neperiano; ε_i - erro aleatório.

Critérios de análise e detecção de observações influentes

Neste estudo, as estatísticas utilizadas para análise de observações influentes foram os resíduos estudentizados (SCHNEIDER et al., 2009), os pontos de influência e a estatística DFFITS (SCOLFORDO, 2005; FIGUEIREDO et al., 2014), as quais foram geradas juntamente com o ajuste dos modelos volumétricos.

De acordo com o método dos resíduos estudentizados, valores superiores a 3 foram considerados observações influentes (STATGRAPHICS, 2020).

Conforme a estatística DFFITS, foram consideradas observações influentes aquelas com valores iguais ou superiores a 5 vezes o valor médio do ponto de influência, conforme Statgraphics (2020), também recomendado em Scolforo (2005).

Neste estudo, foram consideradas observações influentes de acordo com esta estatística, conforme Statgraphics (2006), os valores com elementos da diagonal principal da matriz de projeção no espaço preditor(h_{ii}) maiores que três vezes a sua média ($2p/n$) – em que “p” é o número de parâmetros do modelo de regressão e “n” é o número de observações.

As observações influentes detectadas pelos três critérios utilizados foram analisadas e retiradas do banco de dados para novos ajustes dos modelos volumétricos, para cada uma das três espécies.

Critérios para seleção das melhores equações e validação das equações selecionadas

Para seleção das melhores equações, uma para cada espécie, foram considerados o coeficiente de determinação ajustado, o erro padrão da estimativa absoluto e relativo, a estatística Pressp e a análise gráfica de resíduos (SCOLFORDO, 2005; SCHNEIDER et al., 2009; CYSNEIROS et al., 2017).

Para comparar os volumes estimados pelas equações selecionadas com os volumes observados (cubagem das árvores) e, também, o volume calculado pela equação com o volume obtido pelo fator de forma 0,7 permitido por lei na Amazônia, utilizou-se o teste qui-quadrado ao nível de probabilidade de confiança de 99%, conforme Schneider et al. (2009); Cysneiros et al. (2017), Cruz et al. (2019) e Almeida et al. (2021).

Para validação foi utilizado cerca de 20% do banco de dados distribuídos nas diferentes classes diamétricas para cada uma das espécies estudadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Medidas descritivas e correlação das espécies estudadas

As medidas descritivas e as correlações para as variáveis DAP, HC e VC das três espécies deste estudo estão apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2. Correlação linear de Pearson e medidas descritivas em DAP, altura comercial e volume comercial das 109 árvores de *Hura crepitans* (assacu) em um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

	DAP	HC	VC
DAP	1,00	-0,06	0,74
HC	ns	1,00	0,04
VC	**	ns	1,00
Mínimo	70,0 cm	10,0 m	1,75 m^3
Máximo	213,3 cm	20,0 m	22,50 m^3
Média	105,9 cm	16,5 m	6,58 m^3
Desvio padrão	26,69 cm	2,30 m	4,61 m^3
CV	28,03%	13,97%	69,95%

Em que: DAP - diâmetro à altura do peito (cm), medido à 1,30 m em relação ao nível solo; HC - altura comercial (m); VC - volume comercial advindo da cubagem (m^3); CV - coeficiente de variação.

A correlação linear de Pearson para o assacu (Tabela 2) foi significativa ($\alpha \leq 0,01$) somente entre as variáveis DAP e volume comercial, com 0,74, sendo classificada como positiva e forte. Já as correlações entre DAP e HC (correlação direta) e entre HC e VC (correlação inversa) foram fracas e não significativas. Quanto as medidas descritivas encontradas para essa espécie, houve amplitude elevada entre os valores mínimos e máximos para a variável volume comercial (VC), confirmado pelo alto valor do coeficiente de variação (69,95%).

Tabela 3. Correlação linear de Pearson e medidas descritivas em DAP, altura comercial e volume comercial das 272 árvores de *Cedrela odorata* (cedro-rosa) em um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

	DAP	HC	VC
DAP	1,00	0,10	0,66
HC	ns	1,00	0,17
VC	**	**	1,00
Mínimo	50,9 cm	9,0 m	0,56 m ³
Máximo	159,2 cm	25,0 m	15,69 m ³
Média	72,7 cm	15,1 m	3,17 m ³
Desvio padrão	15,44 cm	2,19 m	2,34 m ³
CV	21,25%	14,54%	73,88%

Em que: DAP - diâmetro à altura do peito (cm), medido à 1,30 m em relação ao nível do solo; HC - altura comercial (m); VC - volume comercial advindo da cubagem (m³); CV - coeficiente de variação.

Tabela 4. Correlação linear de Pearson e medidas descritivas em DAP, altura comercial e volume comercial das 132 árvores de *Ceiba pentandra* (sumaúma) em um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

	DAP	HC	VC
DAP	1,00	0,13	0,64
HC	ns	1,00	0,13
VC	**	ns	1,00
Mínimo	61,1 cm	12,0 m	1,84 m ³
Máximo	180,7 cm	25,0 m	36,33 m ³
Média	107,5 cm	20,2 m	13,83 m ³
Desvio padrão	26,24 cm	2,16 m	7,29 m ³
CV	24,41%	10,72%	52,73%

Em que: DAP - diâmetro à altura do peito (cm), medido à 1,30 m em relação ao nível do solo; HC - altura comercial (m); VC - volume comercial advindo da cubagem (m³); CV - coeficiente de variação.

Já a correlação de Pearson para o cedro-rosa (Tabela 3) foi significativa ($\alpha \leq 0,01$) para as variáveis DAP e VC (correlação forte) e HC e VC (correlação fraca). A correlação entre DAP e HC foi fraca e não significativa. Em relação à estatística descritiva, os resultados para o cedro-rosa foram semelhantes aos do assacu, com elevada heterogeneidade para a variável volume comercial (73,88%).

Quanto a sumaúma (Tabela 4), ocorreu correlação positiva forte e significativa somente para as variáveis VC e DAP ($\alpha \leq 0,01$), como também foi encontrado para as outras espécies deste estudo, sendo as demais correlações fracas e não significativas. Em relação às medidas descritivas, o maior coeficiente de variação também foi observado para o volume comercial (52,73%), com amplitude de 1,84 m³ a 36,33 m³.

Os valores do coeficiente de variação em volume foram altos para as três espécies e são resultados que podem ocorrer em florestas nativas. De acordo com Cysneiros et al. (2017) e Oliveira (2022), esta alta variabilidade revela a heterogeneidade entre árvores e espécies nas florestas inequianas devido a diversos fatores, tais como forma do

fuste, ambiente, idades diferentes, ausência de práticas silviculturais e vários outros, sendo diferente do que ocorre em florestas equianas com uma única espécie e sob tratamentos silviculturais e regimes de manejo controlados.

Uma vez que o volume pode ser resultante da combinação das variáveis diâmetro e altura, normalmente está sujeito à maior heterogeneidade, sobretudo quando se consideram florestas inequianas. Santos et al. (2006), Lansanova et al. (2018), Santos et al. (2019) e Biazatti et al. (2020) encontraram resultados semelhantes para volume comercial em outras espécies florestais amazônicas, também com valores elevados de coeficiente de variação.

Diante da fraca correlação entre as variáveis DAP e HC, evita-se o efeito de multicolinearidade, o que contribui para melhor cálculo do erro padrão da estimativa, que por sua vez, é um critério essencial para detectar as melhores equações (GIMENEZ et al., 2015; OLIVEIRA, 2022). Além disso, houve correlação fraca negativa para as variáveis DAP e HC da espécie assacu, indicando que essas estimativas são inversamente proporcionais, fato esse que também evidencia os erros na aferição das variáveis, que motivado pela dificuldade de obtenção, são estimadas visualmente em alguns casos (GOMES et al., 2018), podendo também ser detectadas nas análises exploratória dos dados e nas análises para detecção de observações influentes.

Equações volumétricas por espécie

A Tabela 5 apresenta as equações e estatísticas para o assacu, após a análise das observações influentes, na qual observa-se que se destacaram as equações de Schumacher e Hall linearizado (11) e de Husch (4), com 80,20% e 79,31% de coeficiente de determinação ajustado, respectivamente. Já o erro padrão da estimativa apresentou menor valor para a equação de Berkhout (3) e maiores valores para Brenac (5) e Schumacher e Hall linearizado com 23,54%, 35,36% e 34,06%, em ordem. O critério de Pressp apresentou menor valor para Berkhout e maiores valores, para Brenac e Schumacher e Hall linearizado.

Destaca-se ainda que as estatísticas geradas pelos modelos de simples e de dupla entrada não apresentaram resultados muito diferentes, com exceção para o modelo de Berkhout (simples entrada) que apresentou valores melhores de erro padrão da estimativa e Pressp em comparação aos demais.

Tabela 5. Equações volumétricas e respectivas medidas de precisão após análise das observações influentes obtidas para a espécie *Hura crepitans* (assacu) em um PMFS em Bujari, AC.

Equação	R ² aj.	Syx	Syx (%)	Pressp (%)	(m ³)	(%)	(m ³) ²
1 $V = -0,16782 + 0,00057 DAP^2$	76,8	1,5	26,1	162,4			
2 $V = 2,21595 - 0,04668 DAP + 0,00078 DAP^2$	76,6	1,5	26,2	161,5			
3 $V = -5,37807 + 0,11094 DAP$	77,8	1,3	23,5	117,7			
4 $\ln V = -7,57303 + 2,00878 \ln(DAP)$	79,3	1,7	27,3	230,3			
5 $\ln V = -8,6618 + 2,2193 \ln(DAP) + 12,8675/DAP$	74,9	2,2	35,4	352,1			
6 $V = 0,49091 + 0,00003 DAP^2 HC$	73,7	1,6	27,9	192,2			
7 $V = -2,33316 + 0,00044 DAP^2 + 0,000007 DAP^2 HC + 0,13312 HC$	78,7	1,4	25,0	144,7			
8 $V = -2,04027 + 0,00053 DAP^2 + 0,000002 DAP^2 HC - 0,000003 DAP HC^2 + 0,00712 HC^2$	78,7	1,4	25,1	143,1			
9 $V = -12,6812 + 0,19176 DAP - 0,00041 DAP^2 - 0,01444 DAP HC + 0,00007 DAP^2 HC + 0,90421 HC$	78,4	1,4	25,2	143,1			
10 $V = 2,57996 - 0,09304 DAP + 0,00086 DAP^2 + 0,00241 DAP HC - 0,000003 DAP^2 HC$	78,6	1,4	25,1	143,6			
11 $\ln V = -9,63238 + 2,0316 \ln(DAP) + 0,69797 \ln(HC)$	80,2	2,2	34,1	372,0			
12 $\ln V = -9,98086 + 0,97100 \ln(DAP^2 HC)$	77,3	1,7	27,5	216,1			
13 $V = 0,00011 DAP^2,06413 HC^{0,476286}$	78,8	1,4	25,0	146,6			

Em que: DAP- diâmetro à altura do peito (cm), medido à 1,30 m em relação ao nível do solo; HC - altura comercial (m); V - volume comercial (m³); ln - logaritmo neperiano; R²aj. - coeficiente de determinação ajustado; Syx - erro padrão da estimativa; Pressp - soma de quadrados da predição.

Na análise gráfica dos resíduos percentuais em função do DAP (Figura 1) observou-se comportamento similar para todos os gráficos, em que os valores apresentaram tendenciosidade para a superestimativa dos resíduos gerados, principalmente nas classes próximas à 100 cm de DAP.

Na maioria dos modelos ajustados foram removidas observações influentes correspondentes aos indivíduos que possuíam DAP próximo a 200 cm (maiores). No entanto, os modelos logarítmicos de Husch, Schumacher e Hall e Spurr mantiveram essas observações sem que influenciasse a qualidade dos ajustes na linha da regressão e melhorando a representatividade do banco de dados.

Após análise minuciosa de todos os critérios de seleção da melhor equação, a equação gerada pelo ajuste do modelo de Husch foi selecionada para o assacu por apresentar as melhores estatísticas, entre os modelos que tiveram distribuição gráfica dos resíduos mais satisfatórios após a análise das observações influentes.

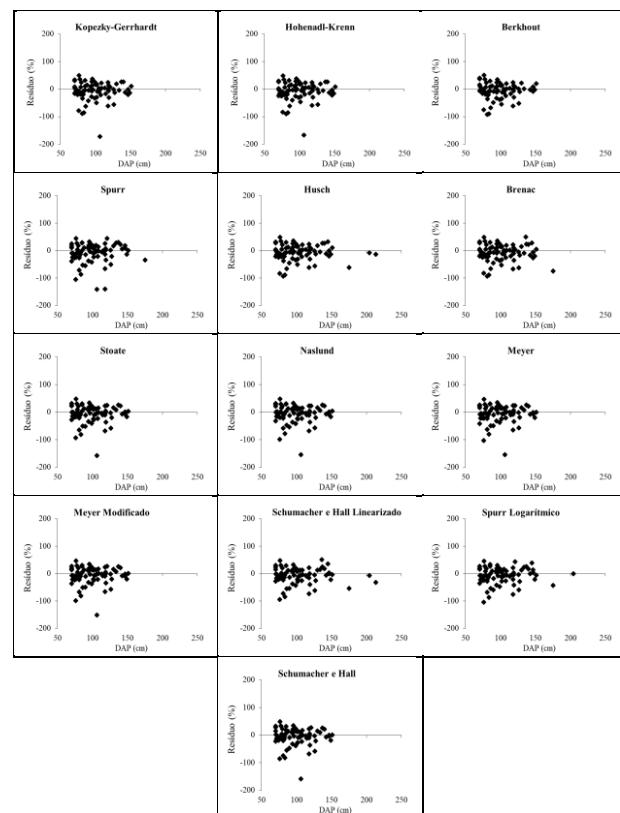


Figura 1. Distribuição gráfica dos resíduos para os ajustes de modelos volumétricos sem observações influentes para a espécie *Hura crepitans* (assacu) em um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

A Tabela 6 apresenta as medidas descritivas e as correlações antes e após a análise das observações influentes apenas da equação selecionada para o assacu. O desvio padrão diminuiu de 4,73 m³ para 4,19 m³ (de 71,20% para 65,75% de coeficiente de variação) após a detecção e retirada de sete observações influentes observadas pelos três critérios, isto é, resíduos estudentizados, estatística DFFITs e matriz H.

Tabela 6. Correlação linear de Pearson e medidas descritivas antes e após a análise de observações influentes para a espécie *Hura crepitans* (assacu) em um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

Média (m ³)	Desvio padrão (m ³)	CV (%)	n	Correlação de Pearson DAP x HC	DAP x VC	HC x VC	
Com OI	6,64	4,7	71,2	85	0,01	0,74	0,11
Sem OI	6,38	4,2	65,8	78	0,06	0,91	0,16

Em que: OI - observações influentes; DAP- diâmetro à altura do peito (cm), medido à 1,30 m em relação ao nível do solo; HC - altura comercial (m); V - volume comercial (m³); CV - coeficiente de variação; número de observações.

A correlação linear de Pearson mostrou-se positiva para todos os testes, porém apenas as variáveis DAP e VC apresentaram forte correlação passando de 0,74 (antes da análise de observações influentes) para 0,91 (após da

análise de observações influentes). As correlações relacionadas com a variável independente altura comercial apresentaram fraca correlação, neste caso, pelas ocorrências detectadas de erros provocados na obtenção da altura comercial, causando imprecisão e contribuindo para interferência na acurácia das estimativas produzidas pelas equações.

Conforme resultados apresentados na Tabela 7, observou-se que as equações 10 (Meyer modificado) e 11 (Schumacher e Hall linearizado) apresentaram melhores valores de R^2 ajustado, de 68,66% e 67,16%, respectivamente. Para as demais estatísticas, a equação gerada pelo ajuste do modelo de Meyer modificado destacou-se com melhores resultados, especialmente para o Pressp, com valor de 118,48 (m^3)², e o erro padrão da estimativa relativo, 29,63%.

Na distribuição gráfica dos resíduos apresentada na Figura 2 pode-se observar maior número de árvores de cedro-rosa entre as classes de diâmetro de 50 cm e 70 cm, classes essas que apresentaram alguma tendência de superestimativas. Por outro lado, a nuvem de pontos esteve mais próxima a zero para os erros de subestimativa, que foram menores e apresentaram menor dispersão, mostrando que as tendências de superestimativas tiveram mais influência na acuracidade das estimativas produzidas pelas equações.

Tabela 7. Equações volumétricas e respectivas medidas de precisão após análise das observações influentes obtidas para a espécie *Cedrela odorata* (cedro-rosa) em um PMFS em Bujari, AC.

Equação	R^2 aj.	Syx (%)	Syx (m^3)	Pressp (%)	Pressp (m^3) ²
1 $V = -0,15599 + 0,00055 DAP^2$	60,1	0,9	33,0	160,3	
2 $V = 0,08217 - 0,00655 DAP + 0,000593 DAP^2$	59,9	0,9	33,0	160,3	
3 $V = -3,11606 + 0,081829 DAP$	61,4	0,8	31,4	135,8	
4 $\ln V = -8,84842 + 2,28997 \ln(DAP)$	64,8	0,9	32,8	162,7	
5 $\ln V = -8,33274 + 2,19532 \ln(DAP) - 7,18983/DAP$	62,7	1,1	37,1	223,0	
6 $V = -0,05107 + 0,00004 DAP^2 HC$	63,5	0,9	31,9	144,9	
7 $V = 1,19929 - 0,000088 DAP^2 + 0,00004 DAP^2 HC - 0,09408 HC$	64,1	0,8	31,6	136,7	
8 $V = 0,25459 + 0,000036 DAP^2 + 0,000033 DAP^2 HC - 0,000003 DAP HC^2 - 0,00138 HC^2$	62,1	0,9	32,3	145,0	
9 $V = -16,8785 + 0,44283 DAP - 0,00257 DAP^2 - 0,03779 DAP HC + 0,00027 DAP^2 HC + 1,4009 HC$	66,4	0,8	30,6	126,1	
10 $V = 3,86953 - 0,10907 DAP + 0,00098 DAP^2 - 0,00069 DAP HC + 0,000029 DAP^2 HC$	68,7	0,8	29,6	118,5	
11 $\ln V = -9,99832 + 2,19483 \ln(DAP) + 0,57498 \ln(HC)$	67,2	1,0	34,4	180,8	
12 $\ln V = -10,2715 + 0,99587 \ln(DAP^2 HC)$	63,6	0,9	33,7	173,8	
13 $V = 0,000077 DAP^2,01369 HC,0,680896$	60,3	0,9	32,2	141,7	

Em que: DAP- diâmetro à altura do peito (cm), medido à 1,30 m em relação ao nível do solo; HC - altura comercial (m); V - volume comercial (m^3); ln - logaritmo neperiano; R^2 aj. - coeficiente de determinação ajustado; Syx - erro padrão da estimativa; Pressp - soma de quadrados da predição.

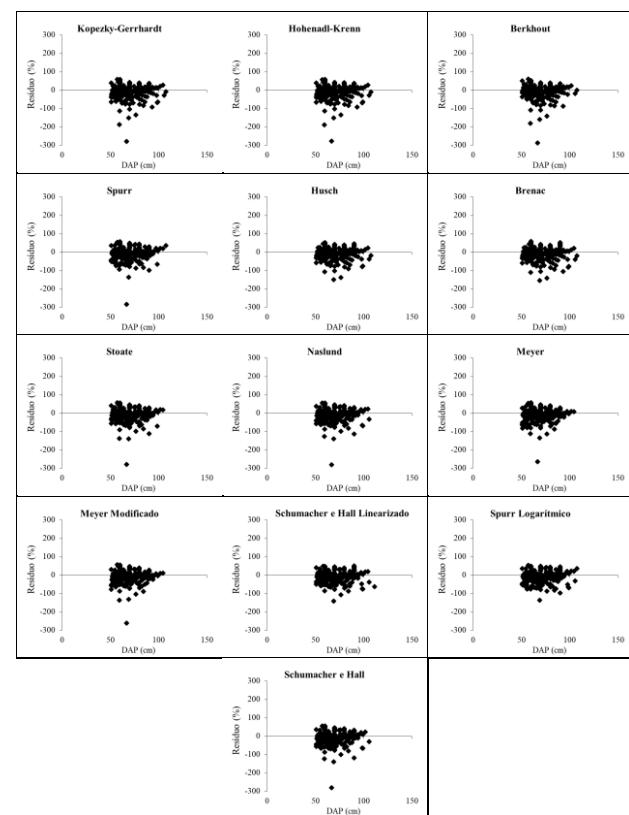


Figura 2. Distribuição gráfica dos resíduos para os ajustes de modelos volumétricos sem observações influentes para a espécie *Cedrela odorata* (cedro-rosa) em um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

Entretanto, algumas equações apresentaram maior homogeneidade na dispersão dos resíduos, como aquelas advindas do ajuste dos modelos de Husch, Brenac, Schumacher e Hall linearizado e Spurr logarítmico. De forma geral, ressalta-se que, mais uma vez, o modelo de Schumacher e Hall na forma linear (logaritmizado) apresentou resultados melhores do que o mesmo modelo na forma linear, sendo a mesma tendência observada para o modelo de Spurr, quando este foi também logaritmizado.

Para o cedro-rosa, com base nos critérios observados neste estudo, foi selecionada a equação gerada pelo ajuste do modelo de Meyer modificado como a melhor para estimativa do volume comercial na área de estudo.

Para a equação selecionada para a espécie *Cedrela odorata* (cedro-rosa), após análise das observações influentes, o número de árvores passou de 215 para 195, buscando-se a manutenção, o máximo possível, do banco de dados original. Ademais, foi observada a redução acentuada no coeficiente de variação, de 20,85%, com aumento nas correlações, que ainda se mantiveram fracas para DAP e HC e HC e VC e forte para DAP e VC, com maior ganho após a retirada das observações

influentes detectadas pelos três critérios utilizados neste estudo, conforme pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8. Correlação linear de Pearson e medidas descritivas antes e após a análise de observações influentes para a espécie *Cedrela odorata* (cedro-rosa) em um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

	Média (m ³)	Desvio padrão (m ³)	CV (%)	n	Correlação de Pearson
					DAP x HC DAP x VC HC x VC
Com OI	3,09	2,3	73,8215	0,10	0,65 0,20
Sem OI	2,67	1,4	52,9195	0,18	0,80 0,29

Em que: OI - observações influentes; DAP- diâmetro a altura do peito (cm), medido a 1,30 m em relação ao nível do solo; HC - altura comercial (m); V - volume comercial (m³); CV - coeficiente de variação; número de observações.

Os valores de coeficiente de determinação ajustado para as equações geradas para a sumaúma variaram de 57,43% a 68,06%, para as equações 6 (Spurr) e 4 (Husch), respectivamente. Já para o erro padrão da estimativa, as equações 2 (Hohenadl-Krenm), 3 (Berkhout), 8 (Naslund) e 10 (Meyer modificado) apresentaram os menores valores absolutos, o que corresponde a aproximadamente 30% de valor relativo dessa mesma estatística. A soma dos quadrados da predição, Pressp, se destacou em meio às outras estatísticas e, também, em relação às outras duas espécies deste estudo, com valores acima de 1300 (m³)², sendo o menor valor de 1391,86 (m³)² para equação 10 (Meyer modificado) e de 2384,51 (m³)² para a equação 11 (Shumacher e Hall linearizado), conforme pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9. Equações volumétricas e medidas de precisão da regressão após análise das observações influentes para a espécie *Ceiba pentandra* (sumaúma) em um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

	Equação	R ² aj.	Syx	Syx	Pressp
		(%)	(m ³)	(%)	(m ³) ²
1	V = 1,32757 + 0,00103 DAP ²	58,3	4,4	32,9	1827,2
2	V = -17,7329 + 0,36929 DAP - 0,00066 DAP ²	63,1	4,1	30,8	1582,3
3	V = -10,5169 + 0,22777 DAP	65,2	4,1	30,2	1597,4
4	ln V = -6,8957 + 2,02438 ln(DAP)	68,1	4,7	33,0	2086,9
5	ln V = -0,64099 + 0,09107 ln (DAP) - 108,785 DAP	64,4	4,6	32,5	1965,0
6	V = 1,44103 + 0,00005 DAP ² HC	57,4	4,4	33,2	1865,0
7	V = 29,4534 - 0,00203 DAP ² + 0,000153 DAP ² HC - 1,40323 HC	59,2	4,3	32,3	1626,9
8	V = 14,0838 + 0,00094 DAP ² - 0,000101 DAP ² HC + 0,00113 DAP HC ² - 0,089716 HC ²	61,2	4,0	30,8	1416,9
	V = 42,147 - 0,26252 DAP - 0,00038 DAP ² +				
9	0,03681 DAP HC - 0,00004 DAP ² HC - 3,24652 HC	58,2	4,2	32,2	1526,2
10	V = -25,3283 + 1,09983 DAP - 0,006725 DAP ² - 0,028454 DAP HC + 0,00026 DAP ² HC	60,4	4,0	30,8	1391,9
11	ln V = - 6,40368 + 1,90092 ln (DAP) + 0,02724 ln (HC)	63,7	5,0	35,1	2384,5
12	ln V = - 9,43564 + 0,969526 ln (DAP ² HC)	66,2	4,7	33,0	2047,9
13	V = 0,00217 DAP ^{1,73046} HC ^{0,215299}	60,0	4,2	31,7	1626,8

Em que: DAP- diâmetro a altura do peito (cm), medido a 1,30 m em

relação ao nível do solo; HC - altura comercial (m); V - volume comercial (m³); ln - logaritmo neperiano; R²aj. - coeficiente de determinação ajustado; Syx - erro padrão da estimativa; Pressp - soma de quadrados da predição.

Essa espécie forma grandes raízes tabulares (sapopemas), o que faz com que, além da altura ter sido obtida por estimativa visual, em algumas árvores, com grandes sapopemas, do diâmetro também foi obtido por estimativa visual, fato que influencia ainda mais a qualidade do ajuste dos modelos volumétricos, podendo gerar altos valores de resíduos e estatísticas com valores abaixo do esperado.

Quanto à distribuição gráfica dos resíduos das equações produzidas para a sumaúma (Figura 3), também foram observadas superestimativas nas classes diamétricas entre 70 cm e 90 cm. As equações que apresentaram a distribuição da nuvem de pontos mais homogênea foram a de Husch, Brenac, Schumacher e Hall linearizado e Spurr logarítmico, mais uma vez mostrando tendência a melhores distribuições gráficas para modelos logaritmizados para este estudo.

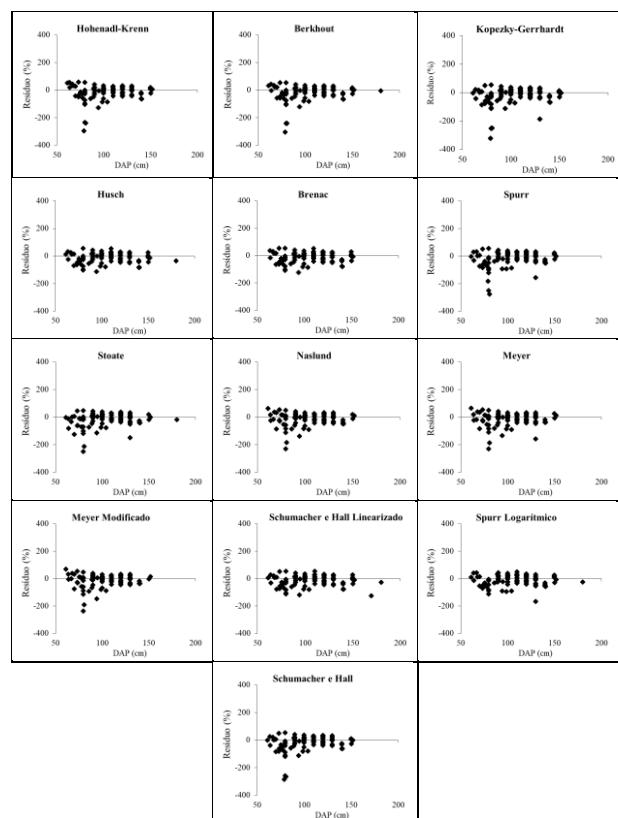


Figura 3. Distribuição gráfica dos resíduos percentuais de 13 equações volumétricas após a análise de observações influentes para a espécie *Ceiba pentandra* (sumaúma) em um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

Vale destacar também que, para a maioria dos ajustes, foram excluídos valores de DAP mais altos, próximos à 200 cm, apesar de mostrar resíduo próximo à zero, fato que

requer análises mais minuciosas, visto que o padrão natural de distribuição de árvores por classes diamétricas nas florestas inequívocas revela poucas árvores nas classes diamétricas maiores, inclusive com falha de árvores em algumas classes diamétricas, o que também tem impacto na qualidade dos ajustes sem técnicas de análise mais sofisticadas, entre outros fatores. Nesse contexto, para a sumarúma, as equações geradas pelos modelos de Berkhoult, Schumacher e Hall linearizado e Spurr logarítmico foram aqueles que apresentaram melhores resultados, incluindo dispersão dos resíduos sem a exclusão das árvores das maiores classes diamétricas.

Considerando-se os resultados das estatísticas de precisão e a análise gráfica dos resíduos, o modelo de Berkhoult possibilitou o melhor ajuste para estimativa do volume de árvores de sumarúma na área de estudo. E a Tabela 10 apresenta os resultados da equação de Berkhoult antes e após a análise das observações influentes, na qual pode-se observar que não apresentaram grandes diferenças nos valores das medidas descritivas e nas correlações.

Tabela 10. Correlação linear de Pearson e medidas descritivas antes e após a análise de observações influentes para a espécie *Ceiba pentandra* (sumarúma) em um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

	Média (m ³)	Desvio padrão (m ³)	CV (%)	n	Correlação de Pearson		
					DAP x HC	DAP x VC	HC x VC
Com OI	13,80	7,4	53,7104	0,11	0,69	0,10	
Sem OI	13,50	6,9	51,298	0,09	0,81	0,07	

Em que: OI - observações influentes; DAP - diâmetro a altura do peito (cm), medido a 1,30 m em relação ao nível do solo; HC - altura comercial (m); V - volume comercial (m³); CV - coeficiente de variação; número de observações.

A correlação linear de Pearson que já era positiva e forte ao se comparar DAP e VC, tornou-se ainda maior, passando de 0,69 para 0,81. Já as outras comparações que envolviam HC, apresentaram correlação positiva e fraca, assim como nas análises do assacu e do cedro-rosa, que apresentaram as mesmas tendências nestes resultados.

É importante salientar que foram observados erros na medição das alturas comerciais das árvores, obtidas por estimativa visual, situação ainda recorrente em inventários florestais em florestas de grande porte, sobretudo nos inventários florestais na Amazônia. Para várias árvores deste estudo, a soma dos comprimentos das toras produzidas pelas árvores cubadas foram muito diferentes da altura comercial das árvores em pé por estimativa visual, fato que também compromete a qualidade dos ajustes dos modelos volumétricos e que foram detectados na análise de observações influentes como erros de

medição ou outras formas de erro por falha de medição da equipe envolvida no levantamento dos dados. Ribeiro et al. (2014), em estudo na Floresta Nacional do Tapajós para ajuste de modelos volumétricos por espécie, concluíram que “é adequado o uso de comprimento de tora para o cálculo de volume real, podendo-se utilizar dados de romaneio para ajuste de modelos volumétricos”, o que também é relatado por Cysneiros et al. (2017) e Biazatti et al. (2020).

Além disso, em alguns casos, há inconsistências entre o volume obtido das árvores em pé no inventário censitário, pelo fator de forma 0,7, e o volume cubado das toras produzidas de cada árvore, situações que ocorreram para as três espécies analisadas neste estudo e que também geram imprecisão da qualidade do ajuste e apareceram na análise de observações influentes.

Validação das equações

A Tabela 11 apresenta os resultados da validação das equações produzidas para as três espécies em relação ao volume obtido pela cubagem das árvores, na qual observa-se não houve diferença significativa entre os volumes estimados e observados ($p \leq 0,01$), indicando que as equações podem ser utilizadas para estimar com acurácia o volume das árvores das referidas espécies nas UPAs do referido PMFS do município de Bujari, AC.

Tabela 11. Teste de qui-quadrado para comparação do volume cubado com o volume das equações selecionadas para as três espécies de um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

Espécie	Equação selecionada	V _{cub} x V _{eq}		Resultado
		χ^2 calculado	χ^2 crítico	
<i>H. crepitans</i>	Husch	24,80	41,64	Equação validada
<i>C. odorata</i>	Meyer modificado	49,56	83,51	Equação validada
<i>C. pentandra</i>	Berkhoult	40,69	46,96	Equação validada

Em que: V_{cub} - volume obtido da cubagem das árvores pelo método de Smalian; V_{eq} - volume obtido pela equação selecionada para cada espécie.

Estudos realizados por Barros & Silva Júnior (2009), Cysneiros et al. (2017) e Almeida et al. (2021), que também ajustaram e validaram equações para espécies do bioma Amazônia encontraram resultados não significativos pelo teste qui-quadrado, corroborando com os resultados deste estudo e mostrando que equações por espécies podem apresentar resultados superiores de acurácia quando comparadas com equações gerais produzidas para a população. Estes mesmos autores também avaliaram,

validaram e recomendaram que sejam ajustados modelos por classe diamétrica para cada espécie como forma de melhorar ainda mais a acuracidade das estimativas produzidas pelas equações.

Já a Tabela 12 apresenta a comparação entre o volume produzido pelas equações selecionadas e o volume obtido pelo fator de forma 0,7 permitido legalmente para PMFS na Amazônia, na qual pode-se observar que para a espécie *Hura crepitans* houve diferença significativa entre estas duas formas de estimativa do volume de árvores em pé, enquanto que para *Cedrela odorata* e *Ceiba pentandra* não houve diferença significativa entre os volumes estimado pelas respectivas equações dessas espécies e o fator de forma 0,7.

Tabela 12. Teste de qui-quadrado para comparação do volume gerado pelo fator de forma 0,7 e o volume das equações selecionadas para as três espécies de um Plano de Manejo Florestal Sustentável em Bujari, AC.

Espécie	Equação selecionada	Veq x Vff		Resultado
		χ^2 calculado	χ^2 critico	
<i>H. crepitans</i>	Husch	80,29	41,64	Equação não validada
<i>C. odorata</i>	Meyer modificado	53,71	83,51	Equação validada
<i>C. pentandra</i>	Berkhout	4,79	46,96	Equação validada

Em que: Veq - volume obtido pela equação selecionada para cada espécie; Vff - volume obtido pelo fator de forma 0,7.

Para Biazatti et al. (2020), os métodos de estimativa do volume comercial ainda são tendenciosos e isso gera minimização dos valores reais, de forma que para que sejam obtidos resultados com alta confiabilidade é preciso aprimorar as técnicas e as metodologias sobre os métodos de estimativa amplamente utilizados e que constituem uma obrigatoriedade pelos órgãos ambientais, sobretudo nas florestas nativas.

E de acordo com Lansanova et al. (2018), ainda se faz necessária a realização de mais estudos com a finalidade de avaliar diferentes métodos de estimativa de volume de árvores abrangendo maior número de árvores e de espécies, visto que trata-se de informação fundamental para inventários florestais e planos de manejo.

CONCLUSÕES

A análise de observações influentes contribuiu para melhoria das equações produzidas e validadas para as espécies comerciais amazônicas *Hura crepitans* (assacu), *Cedrela odorata* (cedro-rosa) e *Ceiba pentandra*

(sumáuma).

A equação indicada para estimativa do volume comercial com casca para *Hura crepitans* foi $\ln(V) = -7,57303 + 2,00878 \ln(DAP)$, gerada pelo ajuste do modelo logarítmico de simples entrada de Husch, com 79,31% e 27,29% de coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa, respectivamente.

Para *Cedrela odorata* a equação obtida pelo ajuste do modelo modificado de dupla entrada de Meyer, $V = 3,86953 - 0,10907 DAP + 0,00098 + DAP^2 0,00069 DAP HC + 0,000029 DAP^2 HC$, foi selecionada e apresentou coeficiente de determinação de 68,66% e erro padrão da estimativa de 29,63%.

E para *Ceiba pentandra* foi indicada a equação gerada pelo ajuste do modelo de simples entrada de Berkhout, $V = -10,5169 + 0,22777 DAP$, com 65,17% de coeficiente de determinação e 30,22% de erro padrão da estimativa.

As três equações selecionadas produziram estimativas estatisticamente iguais ao volume observado obtido da cubagem. Já as estimativas produzidas pelo fator de forma 0,7 foram estatisticamente iguais as estimativas produzidas pelas equações selecionadas para o cedro-rosa e a sumáuma, porém foram estatisticamente diferentes para o assacu.

REFERÊNCIAS

ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento ecológico-econômico:** recursos naturais e meio ambiente - Documento Final. Rio Branco: SECTMA, 2006, v. 1.

ALMEIDA, B. R. S. et al. Eficiência de equações volumétricas para *Couratari guianensis* Aubl. em diferentes cenários na Floresta Nacional do Tapajós. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 130, e3503, 2021.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ARAÚJO, H. B. J.; SILVA, I. G. **Lista de espécies florestais do Acre:** ocorrência com base em inventários florestais. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. (Documentos, 48).

BARROS, P. L. C. ; SILVA JÚNIOR, A. T. Equação de volume para árvores de uma floresta tropical densa no município de Anapu, oeste do estado do Pará, Amazônia Oriental, **Revista de Ciências Agrárias**, v. 51, n. 1, p. 115-126, 2009.

BIAZATTI, S. C. et al. Eficiência de métodos para estimativa volumétrica de espécies nativas na Amazônia Ocidental. **Nativa**, v. 8, n. 2, p. 253-259, 2020.

BRASIL. Instrução Normativa nº 05 de 11 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2006. Disponível em: https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/legislacao/normativas/in_mma_05_2006.pdf

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm

BRASIL. Norma de Execução nº 01, de 24 de abril de 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislação&legislacao=113233>

BRASIL. Resolução Conama nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2009. Disponível em: https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/CONAMA_RES_CONS_2009_406.pdf

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CARDOSO, R. M. **Acurácia volumétrica aplicada ao manejo florestal sustentável na Amazônia Brasileira**. 2022. 132p. Dissertação de mestrado).

CRUZ, G. S. et al. Ajuste e avaliação na estimativa volumétrica para *Lecythis lirida* (Miers) S.A. Mori em uma área de manejo florestal. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 1, p. 549-554, 2019.

CYSNEIROS, V. C. et al. Modelos genéricos e específicos para estimativa do volume comercial em uma floresta sob concessão na Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 114, p. 295-304, 2017.

FIGUEIREDO, E. O. et al. Modelos para estimativa de volume de árvores individuais pela morfometria da copa obtida com Lidar. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 621- 628, 2014.

FRANCEZ, L. M. B. et al. **Manual para análise de inventário florestal e equação de volume em projetos de manejo florestal sustentável - PMFS**. Belém: Edufra, 2010.

GIMENEZ, B. O. et al. Equações volumétricas para espécies comerciais madeireiras do sul do estado de Roraima. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 291-301, 2015.

GOMES, K. M. A. et al. Eficiência na estimativa volumétrica de madeira na Floresta Nacional do Tapajós. **Nativa**, v. 6, n. 2, p. 170-176, 2018.

HIRAMATSU, N. A. **Equações de volume comercial para espécies nativas na região do vale do Jari, Amazônia oriental**. 2008. 92p. (Dissertação de mestrado).

LANSSANOVA, L. R. et al. Comparação entre diferentes métodos para estimativa volumétrica de espécies comerciais da Amazônia. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 109-115, 2018.

OLIVEIRA R. C. A. et al. Equações volumétricas para *Couratari stellata* A.C Smith (tauari) na Floresta Nacional do Tapajós. **Nativa**, v. 5, n. 2, p. 138-144, 2017.

OLIVEIRA, S. R. R. S. **Modelagem do volume de espécies florestais da Amazônia: comparação entre equações genéricas e específicas por espécie**. 2022. 80p. (Dissertação de mestrado).

RIBEIRO, R. B. S. et al. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós, **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 605-612, 2014.

SANTOS, K. et al. Equações volumétricas por classe diamétrica para algumas espécies folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 8, n. 1, p. 99-112, 2006.

SANTOS, K. N. F. et al. Ajuste de equações volumétricas e redes neurais artificiais na estimativa do volume de tauari na Floresta Nacional do Tapajós. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, p. 1-17, 2018.

SANTOS, M. F. et al. Eficiência de equações volumétricas para *Manilkara* spp. em floresta manejada na Amazônia Oriental. **Nativa**, v. 7, n. 5, p. 621-628, 2019.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: Parte I - modelos de regressão linear e não linear, Parte II - Modelos para relação hipsométrica, volume afilamento e peso de matéria seca**. Lavras: Ufla/Faepe, 2005.

SCHNEIDER, P. R. et al. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2.ed. Santa Maria: Facos, 2009.

STATGRAPHICS. **Statgraphics Centurion 19: user manual**. The Plains: StatPoint Technologies, 2006.

TONINI, H.; BORGES, R. A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p.111-117, 2015.

VALDIONES, A. P. et al. **A evolução do setor madeireiro na Amazônia entre 1980 e 2020 e as oportunidades para o seu desenvolvimento inclusivo e sustentável na próxima década**. Belém: Imaflora: ICV: IDESAM, 2022.