

Modelos tradicionais para estimativa do volume em área de concessão na Flona do Jamari – RO

Scheila Cristina Biazatti^{1*}, Marta Silvana Volpato Scoti², João Fideles de Brito Júnior³, Rômulo Môra⁴, Karen Janones da Rocha²

¹Engenheira Florestal, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Docente no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Rondônia.

²Engenheira Florestal, Doutora em Engenharia Florestal. Docente no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Rondônia.

³Biólogo, Mestrando em Ciências Ambientais. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Rondônia.

⁴Engenheiro Florestal, Doutor em Engenharia Florestal. Docente no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso.

*Autor para correspondência. E-mail: scheila.biazatti@unir.br

Resumo: O volume é uma das informações mais importantes para o conhecimento do potencial da floresta, sendo fundamental na avaliação do estoque de madeira em povoamentos florestais. Na região Amazônica, as grandes variações entre espécies e ambientes dificultam a obtenção do volume, pois devido essa heterogeneidade, torna-se trabalhoso e oneroso a determinação do volume real de madeira de cada indivíduo da floresta. Com intuito de permitir a determinação do potencial madeireiro da área com boa precisão e baixo custo, objetivou-se nesse trabalho selecionar modelos volumétricos comerciais para espécies florestais nativas em área de concessão florestal na Floresta Nacional do Jamari, Rondônia. O estudo foi realizado na UPA 6, UMF III, explorada em 2016. Foram cubadas pelo método de Smalian 40 árvores de seis espécies madeireiras (*Apuleia leiocarpa* (J. Vogel) J. F. Macbr, *Astronium lecointei* Ducke, *Clarisia racemosa* Ruiz & Pavon, *Dipterix odorata* (Aublet) Willd, *Dinizia excelsa* Ducke e *Hymenolobium petraeum* Ducke), para o ajuste de 13 modelos estatísticos. Para a seleção do modelo mais acurado utilizou-se das seguintes estatísticas de avaliação: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da média em porcentagem ($S_{yx}\%$) e gráfico dos resíduos. Como resultado, os modelos de Spurr, Schumacher-Hall não linear e Schumacher-Hall logaritmizado apresentam a melhor acurácia, destacando o modelo de Schumacher-Hall não linear como o mais indicado para obter estimativa do volume comercial de espécies nativas da Flona do Jamari.

Palavras-chave: Espécies florestais nativas. Manejo florestal sustentável. Mensuração florestal.

Traditional models for volume estimation in a concession area on Flona do Jamari - RO

Abstract: Volume is one of the most important information to understand the forest potential and is fundamental in assessing the wood content of forest stands. In the Amazon region, great variations between species and environments complicate quantification of volume, because, due to this heterogeneity, it becomes laborious and costly to determine the actual wood volume of each forest individual. To determine area timber potential with good accuracy and low cost, this study aimed to adjust models to estimate the commercial volume of native tree species in a forest concession area in the Jamari National Forest, Rondonia. The study was carried out in the APU 6, FMU III, explored in 2016. Forty trees of six timber species (*Hymenolobium petraeum* Ducke, *Dipterix odorata* (Aublet) Willd, *Dinizia excelsa* Ducke, *Apuleia leiocarpa* (J. Vogel) J. F. Macbr, *Clarisia racemosa* Ruiz & Pavon and *Astronium lecointei* Ducke) were measured using methodology by Smalian to the adjustment of 13 mathematical models. Adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), standard error of the mean in percentage ($S_{yx}\%$) and graphical analysis of waste were observed to select the best model. As results, Spurr models, non-linear Schumacher-Hall and logarithmized Schumacher-Hall present the best accuracy, highlighting the non-linear Schumacher-Hall model as the most indicated to use in estimating commercial volume of native tree species of FLONA.

Keywords: Native forest species. Sustainable forest management. Forest mensuration.

Introdução

O manejo florestal sustentável reúne um conjunto de técnicas voltadas para a exploração dos recursos madeireiros que visam à obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais da floresta. Essas técnicas devem considerar os mecanismos de sustentação do ecossistema e garantir a perpetuidade dos recursos para as gerações futuras (Brasil, 2006; Brasil 2009; Thaines *et al.*, 2010).

Para assegurar a sustentabilidade dos projetos de manejo florestal, a Resolução Nº 406 de 02/02/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Instrução Normativa nº 05 de 11/12/2006 do Ministério do Meio Ambiente estabelecem alguns critérios que precisam ser avaliados nos planos de manejo florestal, tais como: ciclo de corte, taxa de corte, técnicas de regulação de corte, descrição das atividades pré e pós-exploratórias e determinação do volume das espécies que são exploradas.

Nesse sentido, o volume de madeira constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial produtivo da floresta disponível em uma região (Machado *et al.*, 2002). Deste modo, o volume individual das árvores fornece o ponto de partida para avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais (Machado *et al.*, 2005; Thomas *et al.*, 2006).

No entanto, segundo Pellico Netto (2004), árvores em florestas naturais apresentam-se com características mais complexas quando comparadas às árvores de florestas plantadas, bem como às coníferas que apresentam fustes mais regulares que árvores de espécies folhosas. Assim, estas variações são tidas como grandes desafios para os biometristas, uma vez que, é preciso formular metodologia apropriada para a obtenção do volume de madeira de cada espécie que se encontra na floresta, levando em consideração suas características.

Um dos métodos mais utilizados para estimar o volume da árvore em pé é a partir do fator de forma médio, que considera a conicidade das árvores e estabelece a relação entre o volume de madeira e o volume do cilindro (Machado *et al.*, 2005; Rolim *et al.*, 2006). Porém, a utilização de um fator de forma médio para todas as espécies deve ser evitada já que este método pode gerar grandes fontes de erro nas estimativas de volume (Thaines *et al.*, 2010; Figueiredo *et al.*, 2009). Contudo, outras técnicas são comumente utilizadas como instrumento para quantificar ou estimar medidas de interesse, tais como as equações de volume, visando assim, estabelecer uma base sólida para elaboração de planos de manejo (Machado *et al.*, 2002; Rolim *et al.*, 2006; Thomas *et al.*, 2006; Thaines *et al.*, 2010; Tonini & Borges, 2015; Sanquetta *et al.*, 2017).

Na região Amazônica, diversos estudos já foram realizados com objetivo de gerar equações de volume para as espécies nativas (Rolim *et al.*, 2006; Colpini *et al.*, 2009; Thaines, 2010; Miranda *et al.*, 2014, Tonini & Borges, 2015; Cysneiros *et al.*, 2017; Biazatti *et al.*, 2020). Entretanto, não existe ainda uma equação singular, que represente as diferentes espécies e ambientes encontrados na região, além de que, tem-se ainda, dificuldades na mensuração de variáveis independentes, principalmente para a obtenção da altura das árvores por métodos indiretos (Segura & Kanninen, 2005; Colpini *et al.*, 2009; Caldeira *et al.*, 2016; Andrade, 2017; Cysneiros *et al.*, 2017).

De acordo com a Instrução Normativa nº 5 de 11 de dezembro de 2006 do Ministério do Meio Ambiente, nos planos de manejo florestal na Amazônia as estimativas de volume no segundo ano devem ser geradas a partir de equações matemáticas com base em dados de cubagem das árvores exploradas no primeiro ano. Assim, o uso de equações volumétricas geradas a partir de dados da própria população é de fundamental importância para garantir maior precisão das estimativas e contribuem significativamente para o desenvolvimento de planos de manejo, por servir como ferramenta na quantificação do potencial madeireiro da região. Portanto, objetivou-se nesse trabalho selecionar modelos estatísticos difundidos no meio florestal para estimar o volume comercial de espécies florestais nativas exploradas em área de concessão na Floresta Nacional (Flona) do Jamari, RO.

Material e Métodos

Localização e caracterização da área

O estudo foi realizado na Unidade de Produção Anual 6 (UPA 6), localizada na Unidade Manejo Florestal III (UMF III), Flona do Jamari, Itapuã do Oeste, Rondônia. A área total da UPA é 1.827,54 ha, sendo que destes, 1.572,44 ha representam área de efetiva exploração.

Na UPA 6 foram abatidas 2.061 árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) superior ou igual a 50,0 cm entre os meses de abril e outubro de 2016, resultando em 18.308,39 m³ de volume colhido a uma taxa de corte de 11,64 m³ ha⁻¹ (Rubim, 2017, [mensagem pessoal]).

A vegetação predominante na Flona do Jamari é de Floresta Ombrófila Aberta Submontana com clima tropical chuvoso, classificado como Am, apresentando período de seca bem definido entre os meses de

junho a agosto, com precipitação inferior a 20 mm e no período chuvoso a média pluviométrica anual é de 2.200 a 2.500 mm ano⁻¹. A temperatura média anual varia de 24 a 26 °C (Alvares *et al.*, 2014). A maior parte do relevo da UMF III (87,7%) é descrito com altitude abaixo de 150 m e o restante com altitude acima de 150 m e solos classificados como Latossolos e Argissolos, com predomínio de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Amata, 2009).

Coleta dos dados

Foram amostradas 40 árvores distribuídas em seis espécies pertencentes à três famílias botânicas (Quadro 1). Sendo estas, selecionadas de acordo com a disponibilidade nos locais de abate no período de coleta dos dados, que ocorreu em julho de 2016.

Quadro 1. Espécies utilizadas para cubagem rigorosa na Unidade de Produção Anual 6, Unidade de Manejo Florestal III, Floresta Nacional do Jamari, Rondônia.

Família	Nome científico	Nome comum	Nº de árvores cubadas
Anacardiaceae	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Muiracatiara	9
Fabaceae	<i>Apuleia leiocarpa</i> (J. Vogel) J. F. Macbr	Garapeira	2
	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Faveira ferro	13
	<i>Dipteryx odorata</i> (Aublet) Willd	Cumaru	6
	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	Angelim pedra	3
Moraceae	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pavon.	Guariúba	7

Destas, realizou-se a cubagem pelo método de Smalian, onde mediu-se o diâmetro em diferentes posições do fuste (toco, DAP, e, a partir deste, secções de dois metros) até a altura comercial, determinada pela inserção da copa. O volume comercial foi obtido a partir do somatório dos volumes das secções, adquirindo-se primeiro o volume individual de cada árvore e depois uma média simples para obter o volume comercial médio da amostra.

Equações de volume

De posse dos dados de volume comercial, foram ajustados 13 modelos volumétricos para o conjunto de dados total. Foram testados modelos tradicionalmente usados na área florestal para estimar o volume comercial (Quadro 2).

Quadro 2. Modelos matemáticos pré-selecionados para estimativa do volume de espécies comerciais da Unidade de Manejo Florestal III, Floresta Nacional do Jamari, Rondônia.

Grupo	Modelos	Referência
Lineares simples	$vc = \beta_0 + \beta_1 DAP + \varepsilon$ $vc = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \varepsilon$ $vc = \beta_0 + \beta_1 (DAP^2 * hc) + \varepsilon$	Modelo da reta Kopecky - Gehhardt Spurr
Lineares múltiplas	$vc = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$ $vc = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 (DAP^2 * hc) + \beta_3 hc + \varepsilon$ $vc = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 (DAP * hc) + \beta_4 (DAP^2 * hc) + \beta_5 hc + \varepsilon$ $vc = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 (DAP^2 * hc) + \beta_3 (DAP * hc^2) + \beta_4 hc^2 + \varepsilon$	Hohenald - Krenn Stoate Meyer Naslund
Não lineares	$vc = \beta_0 * DAP^{\beta_1} + \varepsilon$ $vc = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * hc^{\beta_2} + \varepsilon$ $vc = DAP^2 hc / (\beta_0 + \beta_1 DAP) + \varepsilon$	Berkhout Schumacher - Hall Takata
Logarítmas	$lnvc = \beta_0 + \beta_1 lnDAP + \varepsilon$ $lnvc = \beta_0 + \beta_1 lnDAP + \beta_2 lnhc + \varepsilon$ $lnvc = \beta_0 + \beta_1 lnDAP^2 hc + \varepsilon$	Husch Schumacher - Hall ln Spurr ln

em que: (vc) é o volume comercial da i -ésima árvore, em m³; (DAP) é o diâmetro da i -ésima árvore a 1,3 metros de altura do solo, em cm; (hc) é a altura comercial, em metros; (ln) é o logaritmo neperiano e (ε) é o erro aleatório.

Análise dos dados

Foi realizada análise descritiva para melhor interpretar o comportamento das variáveis dendrométricas DAP, altura comercial, volume comercial e fator de forma comercial. Para compor essa

análise utilizou-se: média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação em porcentagem, valor máximo e valor mínimo. Ainda com base nos valores de média, mediana, quartis e percentis foram calculados os coeficientes de assimetria e curtose que representam, respectivamente, o grau de afastamento da simetria e o grau de achatamento da distribuição, em relação à distribuição Normal.

A partir da análise dos fatores de inflação da variância, verificou-se a multicolinearidade entre as variáveis explicativas, visto que a forte correlação entre elas acarreta vários efeitos negativos no ajuste do modelo de regressão. Também foram testadas a significância dos coeficientes de cada equação ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t* de Student.

A seleção da equação mais acurada baseou-se nas estatísticas de avaliação coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da média em porcentagem ($S_{yx}\%$) para variável dependente volume comercial e quando logarítmica foi aplicada a correção pelo índice de Meyer e gráficos da distribuição dos resíduos percentuais. As análises estatísticas foram processadas com uso do *Software R* (R Core Team, 2017).

Resultados

As variáveis DAP e altura comercial, considerando todo o conjunto de dados, apresentaram média e desvio padrão de $90,6 \pm 21,7$ cm e $20,6 \pm 5,7$ m, respectivamente. O volume comercial rigoroso dos indivíduos teve média e desvio padrão de $10,4190 \pm 5,7417$ m³ (Tabela 1).

Os valores de amplitude, considerando a amostra, para DAP, altura comercial e volume comercial foram 91,3 cm, 20,3 m e 21,6699 m³, respectivamente, sendo isso, resultado da heterogeneidade estrutural observada em florestas naturais, também confirmado pela análise de assimetria e curtose, que apresentou distribuição diamétrica com assimetria a direita ($\geq 0,7$) e curva com configuração leptocúrtica ($\geq 0,3$).

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis DAP (diâmetro à altura do peito, cm), hc (altura comercial, m) e vc (volume comercial, m³), para as espécies estudadas e para o total na Unidade de Manejo Florestal III, Floresta Nacional do Jamari, Rondônia

Espécie	V	\bar{Y}	Md	S	CV	Max	Min
<i>Apuleia leiocarpa</i> (J. Vogel) J. F. Macbr	DAP	110,00	110,00	14,28	12,99	120,10	99,90
	hc	15,7	15,7	1,6	10,1	16,9	14,6
	vc	11,7381	11,7381	6,7742	57,7111	16,5282	6,9480
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	DAP	88,40	86,40	10,52	11,91	110,70	73,10
	hc	27,1	27,6	3,0	11,3	30,3	21,3
	vc	12,8010	11,3536	4,1130	32,1300	20,9189	7,3125
<i>Clarisia racemosa</i> Ruíz & Pavon	DAP	73,53	71,00	5,75	7,82	85,60	68,20
	hc	17,0	17,3	3,3	19,3	20,6	11,3
	vc	5,7372	5,7132	1,4743	25,6981	8,2233	3,9874
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	DAP	108,32	108,70	21,02	19,41	150,10	76,10
	hc	19,1	18,8	5,1	26,5	27,7	10,0
	vc	13,2039	11,9576	6,1160	46,3192	24,9429	6,3041
<i>Dipterix odorata</i> (Aublet) Willd	DAP	73,41	72,10	15,92	21,68	102,30	58,80
	hc	16,6	16,1	2,6	15,5	20,4	12,7
	vc	5,7269	4,986	3,3530	58,5483	12,2860	3,2730
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	DAP	82,07	69,30	28,58	34,82	114,80	62,10
	hc	27,0	28,0	2,4	8,9	28,8	24,3
	vc	10,6341	5,9972	8,5243	80,1599	20,4718	5,4334
Amostra	DAP	90,63	85,40	21,72	23,97	150,10	58,80
	hc	20,6	20,3	5,7	27,6	30,3	10,0
	vc	10,4190	9,0506	5,7417	55,1076	24,9429	3,2730

em que: (V) é a variável dendrométrica avaliada; (\bar{Y}) é a média, em cm, m e m³, respectivamente; (Md) é a mediana, em cm, m e m³, respectivamente; (S) é o desvio padrão da média, em cm, m e m³, respectivamente; (CV) é o valor percentual do coeficiente de variação, em porcentagem; (Max) é o máximo valor da variável, em cm, m e m³, respectivamente; (Min) é o valor mínimo da variável, em cm, m e m³, respectivamente.

Nesse sentido, apenas as equações da reta, Kopecky – Gehrhardt, Spurr, Berkhout, Schumacher – Hall, Husch, Schumacher - Hall ln e Spurr ln apresentaram coeficientes significativos (Tabela 2), em outros casos, a não significância foi observada apenas para a constante de regressão (coeficiente β_0), fator que não impede o uso da equação.

Tabela 2. Coeficientes e estatísticas de avaliação das equações de volume comercial para espécies nativas da Unidade de Manejo Florestal III, Floresta Nacional do Jamari, Rondônia

Equações		Coefficientes	R ² _{aj}	S _{yx} %
Modelos da reta	β_0	-9,53550*	84,70	30,89
	β_1	0,22018*		
Kopecky - Gehrhardt	β_0	0,78581 ^{ns}	84,00	31,58
	β_1	0,00111*		
Spurr	β_0	-0,18840 ^{ns}	97,43	12,65
	β_1	0,000059*		
Hohenald - Krenn	β_0	-11,0700 ^{ns}	89,80	31,30
	β_1	0,25350 ^{ns}		
	β_2	-0,00017 ^{ns}		
Stoate	β_0	1,88500 ^{ns}	98,76	12,76
	β_1	-0,00019 ^{ns}		
	β_2	0,00007*		
	β_3	-0,10840 ^{ns}		
Meyer	β_0	10,6800 ^{ns}	99,18	13,06
	β_1	-0,19840 ^{ns}		
	β_2	0,88280 ^{ns}		
	β_3	0,01164 ^{ns}		
	β_4	0,00001 ^{ns}		
	β_5	-0,62730 ^{ns}		
Naslund	β_0	4,18800 ^{ns}	99,08	12,51
	β_1	-0,00000 ^{ns}		
	β_2	0,00005*		
	β_3	0,00011 ^{ns}		
	β_4	-0,33390 ^{ns}		
Berkhout	β_0	0,00293 ^{ns}	84,19	31,39
	β_1	1,80690*		
Schumacher - Hall	β_0	0,00004 ^{ns}	98,30	12,78
	β_1	2,05700*		
	β_2	1,02200*		
Takata	β_0	17593,00*	97,44	12,64
	β_1	-6,17400 ^{ns}		
Husch	β_0	-9,53600*	83,69	31,88
	β_1	2,02090*		
Schumacher - Hall ln	β_0	-9,53600*	98,18	13,23
	β_1	2,02090*		
	β_2	89,8100*		
Spurr ln	β_0	1,01180*	65,00	46,71
	β_1	0,00644*		

em que: (*) significativo para o teste t a nível de 95% de probabilidade; (^{ns}) não significativo para o t a nível de 95% de probabilidade; (R²) é o valor do coeficiente de determinação ajustado para a equação e (S_{yx}%) é o valor do erro padrão da média para a equação.

Para as equações que não apresentaram significâncias dos coeficientes β_n , realizou-se o teste de variância inflacionária. Para as variáveis dependentes encontrou-se valores superiores a 10 (VIF \geq 2,015), indicando segundo Draper & Smith (1981) a presença de forte multicolinearidade.

Considerando as estatísticas de avaliação R²_{aj} e S_{yx}%, as equações tiveram valores acima de 0,80 e inferiores a 32%, respectivamente. Destaca-se como equações que demonstraram melhor desempenho para essas estatísticas os de Schumacher-Hall nas formas não linear e linear. Evidencia-se ainda, a equação de Spurr, que apresentou, assim como as equações de Schumacher-Hall, valores de R²_{aj} superiores a 97% e S_{yx}% menores que 15% (Tabela 2).

A análise gráfica dos resíduos (Figura 1), feita somente para os modelos que apresentaram melhores desempenhos estatísticos, destaca novamente as equações de Spurr, Schumacher-Hall e Schumacher-Hall

linearizado, mostrando na análise visual dos gráficos melhores distribuições dos resíduos, com as menores diferenciações nos padrões de dispersão dos dados e sem grandes desvios ao longo do eixo zero.

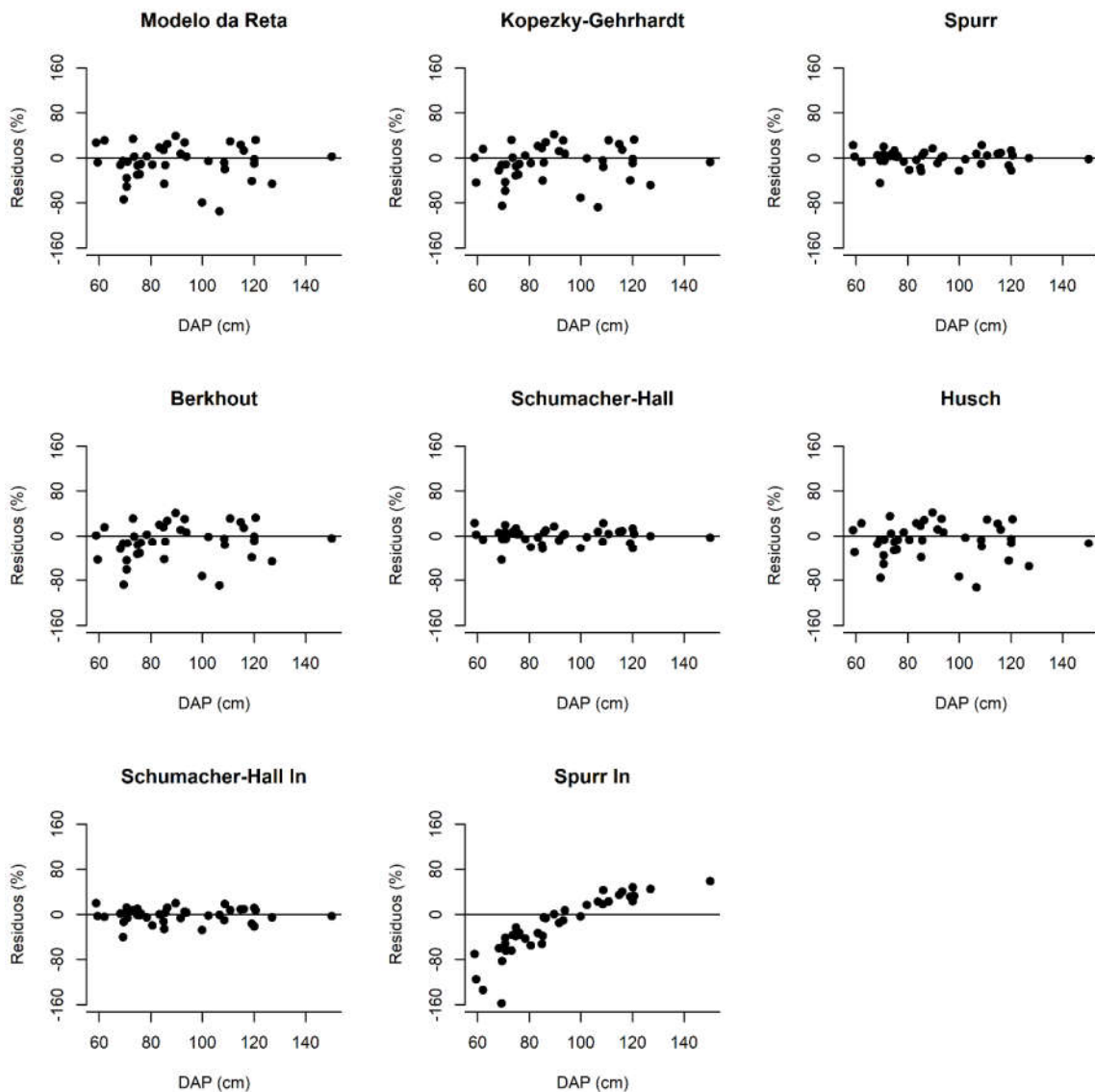


Figura 1. Gráficos de resíduos em porcentagem de oito equações de volume comercial para espécies nativas da Unidade de Manejo Florestal III, Floresta Nacional do Jamari, Rondônia.

As equações da reta, Kpezky-Gehrhardt, Berkhout e Husch demonstraram distribuição dos resíduos semelhante, permitindo a visualização de uma maior dispersão dos resíduos em relação ao DAP e com padrões desuniformes. Já a distribuição dos resíduos para a equação de Spurr linearizada aponta que houve uma subestimativa dos dados nas primeiras classes diamétricas e uma superestimativa nas classes de maior DAP.

Discussão

As variáveis dendrométricas (DAP, hc e vc) observadas para a amostra de árvores cubadas na Unidade de Produção Anual 06 (Tabela 1) indicaram alta dispersão, influenciando no valor do coeficiente de variação. Esse fato é comum na exploração madeireira de áreas naturais, pois o DAP mínimo de corte nos planos de manejo é de 50 cm (Brasil, 2006), assim são abatidas árvores de diferentes classes de tamanho, o que gera amostras heterogêneas em relação a essas variáveis.

Por outro lado, os valores médios e medianos para a variável altura foram semelhantes, sendo este resultado esperado em virtude de que as árvores abatidas pertencem a um mesmo estrato, indicando baixa

variação dos dados dessa variável. De maneira geral, os estudos de volumetria em ambientes nativos demonstram alta variação dos dados obtidos, principalmente para diâmetro e volume, com amplitudes ≥ 90 cm e ≥ 18 m³, respectivamente (Thaines *et al.*, 2010; Tonini & Borges, 2015; Cysneiros *et al.*, 2017).

A alta variabilidade demonstrada pelas estatísticas descritivas para as variáveis dendrométricas, também é exposta por Correia *et al.* (2017) em estudo sobre volumetria na Mata Atlântica, que destacam ainda ser um reflexo das características de florestas nativas. Destaca-se, por exemplo, a variável DAP que apresenta distribuição em “J-invertido”, demonstrando uma alta variação de tamanho das árvores, por sua vez refletido nos valores de área basal e volume.

Os modelos de dupla entrada foram estatisticamente superiores aos de simples entrada (Tabela 2), com os maiores valores de coeficientes de determinação ajustado (R^2_{aj}) e os menores valores de erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$), evidenciando que a inserção da variável hc melhorou o ajuste dos modelos ao conjunto dos dados. Esse comportamento também foi constatado como por Rolim *et al.* (2006), Thaines *et al.* (2010), Tonini e Borges (2015) e Cysneiros *et al.* (2017) em estudos para obtenção de equações volumétricas para espécies nativas.

Em relação ao desempenho das equações quanto as estatísticas de avaliação R^2_{aj} e $S_{yx}\%$, de forma geral, os resultados obtidos também foram observados nos estudos de Thaines *et al.* (2010) que estimou o volume para espécies nativas da região da bacia do Rio Ituxi em Labrea-AM e Tonini & Borges (2015) que utilizaram equações para estimar o volume de espécies comerciais em Floresta Ombrófia Densa no sul de Roraima.

Para o erro padrão da estimativa, que representa a precisão média das equações, os valores observados são considerados altos quando comparados ao encontrado para espécies em plantios florestais homogêneos, sendo esse padrão observado tanto para equações hipsométricas quanto volumétricas. Mesmo com os valores superiores, esse parâmetro apresentou estimativas precisas, visto que o maior valor para o $S_{yx}\%$ em povoamentos misto e principalmente em florestas nativas pode ser explicado pela maior heterogeneidade do ambiente que reflete no desenvolvimento das árvores individualmente (Ré *et al.*, 2015).

As equações de Hohenaldl-Kren, Stoate, Meyer e Naslund apresentaram altos valores de R^2_{aj} , entretanto, apenas um ou nenhum coeficiente significativo, caracterizando multicolineariedade das equações ajustados, em virtude da correlação entre as variáveis independentes. O estudo de Tonini & Borges (2015) também relata a presença desse problema para esses mesmos modelos, ocasionado pelo elevado número de coeficientes com as variáveis independentes DAP, altura comercial e a combinação destas.

De forma geral, as equações nas formas não linear e linearizada de Schumacher-Hall, juntamente com a equação de Spurr em sua forma tradicional, foram os que apresentaram melhores desempenhos estatísticos. Esse resultado corrobora com os estudos de Rolim *et al.* (2006), Colpini *et al.* (2009), Thaines *et al.* (2010) e Cysneiros *et al.* (2017), também realizados em áreas de floresta nativa.

As equações de Schumacher e Hall, que apresentaram ajuste satisfatórios ao conjunto dos dados, também tem sido amplamente recomendadas em estimativas volumétricas de povoamentos florestais (Rolim *et al.*, 2006; Thaines *et al.*, 2010; Tonini & Borges, 2015). Entretanto, mesmo como os resultados favoráveis a esse modelo, existe ainda incertezas quanto ao seu emprego como sendo o mais adequado para estimar o volume de povoamentos florestais plantados e nativos para a realidade brasileira. Sugerindo que haja cautela ao se utilizar o modelo de Schumacher e Hall sem prévia comparação com outras opções de modelagem da relação volumétrica (Andrade, 2017).

A equação de Spurr, para o qual verificou-se desempenho estatístico satisfatório, com o menor valor de $S_{yx}\%$, mostra-se como um dos principais modelos testados atualmente, aparecendo em mais de 70% dos estudos de volume e apresentando em mais de 15% deste a melhor acurácia (Andrade, 2017). Destaca-se também o estudo de Cysneiros *et al.* (2017), que avaliou este modelo e indica que o mesmo propiciou, juntamente com os modelos de Schumacher-Hall, os melhores ajustes na composição de equações genéricas e específicas para as espécies comerciais em área manejada na região Amazônica.

A equação ajustada de Spurr linearizado foi a que apresentou a menor acurácia, com valor de R^2_{aj} inferior aos demais modelos e elevado valor de $S_{yx}\%$, além de demonstrar pela análise gráfica dos resíduos tendência de superestimativa para os menores diâmetros e subestimativa das árvores de maior dimensão diamétrica. Resultados que corroboram com o estudo de Tonini e Borges (2015), em que, este modelo, mesmo apresentando estatística dos parâmetros significativa, tendeu a subestimar os volumes nas maiores árvores. Dessa forma, destaca-se o desempenho estatísticos apresentado pelas equações de Schumacher-Hall, em suas duas formas apresentadas, equação não linear e equação linearizada, bem como a equação de Spurr e podendo estas serem usadas para estimativa do volume comercial de espécies nativas da Flona do Jamari.

Conclusões

- Os modelos de dupla entrada apresentaram melhor desempenho estatístico em relação aos modelos de simples entrada, justificado pela inserção da variável independente altura comercial. Podendo ser atribuído ao fato desta variável demonstrar menor variação dos dados, em virtude de se tratar de árvores do estrato médio-superior da floresta.
- As equações de Spurr, Schumacher-Hall e Schumacher-Hall linearizado foram as que apresentaram melhor acurácia, podendo serem indicadas para estimação do volume comercial de espécies nativas na área de abrangência do estudo e demais que apresentem características ambientais semelhantes.
- É importante considerar a realização de novos estudos com o uso de amostras maiores, a fim de gerar equações volumétricas por espécie, grupos de espécie, posição sociológica e classes de DAP, permitindo um melhor conhecimento da estrutura e, assim gerar as estimativas do volume da floresta com maior precisão.

Referências

- Alvares, C., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M. & Sparovek, G. (2014) Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), p.711–728.
- Amata. (2009). *Plano de manejo florestal sustentável categoria de PMFS*: pleno. 142p.
- Andrade, V. C. L. (2017). Modelos volumétricos de dupla entrada para aplicar em povoamentos florestais brasileiros. *Floresta e Ambiente*, 24; e00135415.
- Biazatti, S. C., Scotti, M. S. V., Brito Junior, J. F., Môra, R. & Cardozo, G. H. (2020). Eficiência de métodos para estimativa volumétrica de espécies nativas na Amazônia Ocidental. *Nativa*, Sinop, 8(2), p. 253-259.
- Brasil. (2006). *Instrução Normativa n. 5, de 11 de dezembro de 2006*. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal. Legislação federal.
- Brasil. (2009). Ministério Do Meio Ambiente/Conselho Nacional De Meio Ambiente. *Resolução 406, de 02/02/2009*. 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. Legislação federal.
- Caldeira, G. V., Mamoré, F. M. D., Silva, R., Gava, F. H., Favalessa, C. M. C., Môra, R. & Drescher, R. (2016). Volume equations for *Qualea paraensis* and *Erismia uncinatum* in the north of Mato Grosso state, Brazil. *Nativa*, Sinop, 4(4), p.249-252.
- Colpini, C., Travagin, D. P., Soares, T. S., Moraes & Silva, V. S. (2009). Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. *Acta Amazônica*, 39(1), p. 97-104.
- Correia, J., Fantini, A. & Piazza, G. (2017). Equações volumétricas e fator de forma e de casca para Florestas Secundárias do litoral de Santa Catarina. *Floresta e Ambiente*, 24, e20150237.
- Cysneiros, V. C., Pelissari, A. L., Machado, S. A., Figueiredo Filho, A. & Souza, L. (2017). Modelos genéricos e específicos para estimativa do volume comercial sob concessão na Amazônia. *Scientia Forestalis*, Piracicaba-SP, 45(114), p. 295-304.
- Draper, N. R. & Smith, H. (1981). *Applied regression analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Figueiredo, E.O., Schroeder, R. & Papa, D. D. A. (2009). Fatores de forma para 20 espécies florestais comerciais da Amazônia. Embrapa: Rio Branco, AC. *Comunicado técnico*, 173.
- Machado, S. A., Conceição, M. B. & Figueiredo Filho, A. (2002). Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. Guarapuava. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, 4(2), p.41-50.

- Machado, S. A., Urbano, E. & Conceição, M. B. (2005). Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbaste. *Bol. Pesq. Florestal*, Colombo, 50, p. 81-98.
- Miranda, D. L. C., Paro, B. A. V. & Costa, G. R. (2014). Estimativa do volume em árvores de *Hymenaea coubaril* e *Trattinnickia burserifolia* no Norte do Mato Grosso. *Nativa*, 2(4). Disponível em: <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1687>>. Acessado em: agosto de 2016.
- Péllico Netto, S. (2004). Equivalência volumétrica: uma nova metodologia para estimativa do volume de árvores. *Ciências Agrárias e Ambientais*, Curitiba, 2(1), p. 17-30.
- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ré, D. S., Engel, V. L., Ota, L. M. S. & Jorge, L. A. B. (2015). Equações alométricas em plantios mistos visando à restauração da Floresta Estacional Semidecidual. *Revista Cerne*, 21(1), p.133-140.
- Rolim, S. G., Couto, H. T. Z., Jesus, R. M. & Franca, J. T. (2006). Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Taipé-Aquirí, Serra dos Carajás. *Acta Amazônica*, Manaus, 36(1), p. 106-114.
- Rubim, C. F. (2017). *Informações UPA 6*. [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <floresta.ro@amatabrasil.com.br> em 15 de outubro de 2017.
- Sanquetta, C. R., Sanquetta, M. N. I., Bastos, A., Queiroz, A. & Corte, A. P. D. (2017). Estimativa da altura e do volume em povoamentos jovens de restauração florestal em Rondônia. *BIOFLIX Scientific Journal*, 2(2), p.23-31.
- Segura, M. & Kanninen, M. (2005). Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica*, Lawrence, 37(1), p. 2-8.
- Soares, C. P. B., Paula Neto, F. & Souza, A. L. (2011). *Dendrometria e inventário florestal*. 2ª ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 272p.
- Souza, A. L. & Soares, C. P. B. (2013). *Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo*. Viçosa, MG. Ed. UFV. 322p.
- Thaines, F., Braz, E. M., Mattos, P. P. & Thaines, A. A. R. (2010). Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, 30(64), p. 283-289.
- Thomas, C., Andrade, C. M., Schneider, P. R. & Finger, C. A. G. (2006). Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 16(3), p.319-327.
- Tonini, H. & Borges, R. A. (2015). Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, 35(82), p. 111-117.