



Modelos estatísticos para estimativa do volume de árvores de *Parkia gigantocarpa* Ducke, em plantios experimentais em Mato Grosso

Dirceu Lucio Carneiro de MIRANDA^{1,2*}, Thuany Bitencort ANGELIN¹, Gerson dos Santos LISBOA³, Fernando da SILVA², Débora Monteiro GOUVEIA², Tiago Monteiro CONDÉ⁴, Cristina Santos da SILVA³

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

² PPG em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil.

³ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, Piauí, Brasil.

⁴ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Roraima, Rorainópolis, Roraima, Brasil

* E-mail: mirandaufmt@hotmail.com

Recebido em agosto/2015; Aceito em dezembro/2015.

RESUMO: Os modelos estatísticos são fundamentais para a estimativa dos volumes das árvores e conseqüentemente para o planejamento das empresas florestais. O objetivo do estudo foi testar e selecionar modelos estatísticos para a estimativa do volume individual de árvores da espécie fava barriguda (*Parkia gigantocarpa* Ducke) em plantios no estado do Mato Grosso. Foram utilizadas 30 árvores de um plantio experimental. As árvores tiveram seus volumes rigorosos determinados pelo método de Smalian. Foram testados oito modelos lineares, sendo dois obtidos pelo processo *stepwise - forward*. Para avaliar a precisão dos modelos foram utilizados o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o erro-padrão da estimativa (Syx %), valor de F, valor ponderado dos escores estatísticos (VP) e análise gráfica dos resíduos. Para a estimativa do volume total, os melhores modelos apresentaram R^2_{aj} acima de 0,92 e erros-padrão abaixo de 12%, ao passo que para o volume comercial, esses valores foram de 0,62 e 26% respectivamente. Os modelos obtidos por meio do procedimento *Stepwise* geraram as estimativas mais precisas.

Palavras-chave: alometria, ajuste de equações, volumetria, Amazônia.

Statistical models for estimating volume of trees of *Parkia gigantocarpa* Ducke in plantations in Mato Grosso State, Brazil

ABSTRACT: Statistical models are essential for the estimate of volumes of trees and therefore for the planning of forestry companies. The aim of this study was to test and select statistical models for estimating the individual volume of trees of fava barriguda species (*Parkia gigantocarpa* Ducke) in plantations in Mato Grosso State, Brazil. Thirty trees originated from an experimental plantation were used. Trees had their rigorous volumes determined by Smalian method. Eight linear models were tested, where two were obtained by stepwise-forward process. In order to assess the accuracy of the models, adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), standard error of estimate (Syx %), F value, weighted value of statistical scores (WV) and graphical analysis of waste were used. Regarding the estimate of the total volume, the best models showed R^2_{aj} above 0.92 and standard errors below 12%, whilst these values were 0.62 and 26%, respectively, with regard to the commercial volume. The models obtained by the Stepwise procedure have generated more accurate estimates.

Keywords: allometry, adjustment of equations, volumetry, Amazon.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui cerca de 54% de seu território coberto por florestas, com 463 milhões de hectares, dos quais a maioria está no Bioma Floresta Amazônia (SFB, 2013), onde ocorrem muitas espécies florestais de valor comercial, cujo potencial econômico ainda é pouco explorado. As florestas plantadas representam apenas 1,55% dos recursos florestais do país, o que corresponde a 7,2 milhões de hectares, dos quais menos de 4% referem-se a plantações com espécies nativas (ABRAF, 2013). As florestas plantadas destacam-se por representar a principal fonte de suprimento de madeira

das cadeias produtivas de importantes segmentos industriais como os de celulose e papel, painéis reconstituídos, móveis, siderurgia a carvão vegetal, energia e produtos de madeira sólida (FONSECA, 2009).

Além das florestas plantadas de eucalipto e pinus no Brasil, que formam o conjunto mais representativo, outros grupos de espécies comerciais plantadas também merecem destaque em função de sua importância econômica como a teca (*Tectona grandis* L.F.), seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg), paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) e populus (*Populus* spp) (ABRAF, 2013). Contudo, há trabalhos de pesquisa visando selecionar espécies florestais que possam

ser plantadas comercialmente, seja por sua adaptabilidade, crescimento rápido e valor econômico. Nesse contexto, Rondon, (2011) ao avaliar 23 espécies nativas, destaca que a fava barriguda (*Parkia gigantocarpa*) foi uma das espécies que apresentou maior rendimento para reflorestamento em área aberta, com maior diâmetro de planta e índice de mortalidade abaixo de 20%.

A *P. gigantocarpa*, pertence à subfamília Mimosoideae e apresenta vários nomes vulgares, como fava-atanã e fava-barriguda. Segundo Paula e Alves (1997) ocorrem em florestas de terra firme da Amazônia. No estudo realizado por Gomes et al. (2010), *P. gigantocarpa* foi umas das espécies indicadas para o plantio de enriquecimento em clareiras conforme análise realizada em uma floresta de terra firme na Amazônia brasileira. Os indivíduos adultos dessa espécie podem chegar a 60 m de altura e 1,5 m de diâmetro. Seu fuste possui casca grossa, fissurada e descorticante em placas grandes. As folhas são grandes, com cerca de 28 cm de comprimento, incluindo o pecíolo, os folíolos tem entre 15 e 20 cm de comprimento, folíolos rígidos, glabros, com 2 a 2,5 cm de comprimento e 0,8 a 1,3 cm de largura, ápice obtuso ou agudo. Apresenta madeira leve, massa específica da ordem de 0,55 g/cm³ de madeira seca, boa para compensado (PAULA; ALVES, 1997).

Existem algumas publicações recentes sobre superação de dormência em sementes (OLIVEIRA et al., 2012), sobrevivência de mudas plantadas em clareiras de exploração florestal (GOMES et al., 2010) e propriedades físicas e mecânicas da madeira (MIRANDA et al., 2012). Contudo informações sobre a estimativa do volume a partir de modelagem de árvores de *P. gigantocarpa* plantadas em povoamento são praticamente inexistentes, em que pese o potencial silvicultural demonstrado da espécie. Segundo Cunha (2004), o volume é a variável mais utilizada no diagnóstico do potencial madeireiro de uma floresta, sendo por isso de muita importância. Além de ser uma variável de uso corrente no manejo florestal, é também mais utilizada na comercialização e na indústria. A medição de todas as árvores de uma floresta, com a finalidade de conhecer seus volumes, é muitas vezes uma tarefa impraticável, dessa forma, é utilizado na maioria das vezes um modelo estatístico para tal fim.

Para construir os modelos estatísticos, geralmente, é indicado que seja realizada uma análise de correlação entre as variáveis coletadas e, dessa forma, selecionam-se as variáveis que apresentam maiores correlações para fazerem parte do modelo (SANQUETTA, 2009). Ainda com o advento de novas técnicas de testes para os ajustes dos modelos, pode-se partir para análises automatizadas dessas seleções como no processo *Stepwise*. Segundo Thomas et al., (2006), muitas equações matemáticas foram desenvolvidas para estimar o volume de povoamentos florestais e, apesar da eficiência de alguns modelos, essas nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições, sendo recomendável testá-las, por meio de estatísticas adequadas para identificar a mais adequada para cada caso. Diante deste contexto, o presente estudo teve como objetivo testar modelos estatísticos para estimar o volume individual de árvores de *P. gigantocarpa*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em plantio experimental de *P. gigantocarpa* na Fazenda experimental da Empresa Mato-

grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER) localizada em Sinop – MT, nas coordenadas geográficas de latitude 11°50'S e longitude 55° 38' W. A altitude é de 384 m, com médias da temperatura mínima e máxima mensais de 24 e 34°C e a precipitação média anual de 2.090 mm. Essa região é caracterizada como zona de transição edafoclimática entre cerrado e floresta amazônica, sua vegetação é classificada como floresta semidecidual submontana dossel emergente e seu clima, segundo Köppen, é do tipo Aw (BRASIL, 1980). O solo apresenta baixa fertilidade, sendo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. A textura é argila arenosa, com pH em água 4,5, baixo teores de K e P, 2,4% de matéria orgânica, 54% de areia, 6% de silte e 40% de argila. (BRASIL, 1980).

O experimento foi implantado no ano de 1996, visando avaliar o desempenho de 30 espécies, sendo 23 nativas e 7 exóticas, dentre elas, *P. gigantocarpa*. O espaçamento empregado foi de 4 x 3m. As plantas receberam adubação na cova com 100 g de calcário e 200 g de NPK (adubo formado pela mistura de nitrogênio, fósforo e potássio), em cobertura até o terceiro ano de idade.

Foram selecionadas 30 árvores distribuídas em toda amplitude diamétrica (30 a 50cm) do povoamento. Os diâmetros à 1,30m do solo (DAP) foram mensurados em centímetros e a altura total e comercial até o ponto de inversão morfológica do fuste em metros. A determinação dos volumes (total e comercial) de cada árvore foi realizada por meio de cubagem rigorosa em seções de 2 metros pelo método absoluto de Smalian, descrito em Machado e Figueiredo Filho (2006).

Foram ajustados seis modelos estatísticos (lineares) de acordo com a literatura, para estimar os volumes totais e comerciais das árvores (Tabela 1).

Além dos seis modelos testados, foram ajustados modelos por seleção das variáveis significativas por meio do processo “*Stepwise*” (DRAPPER; SMITH, 1980), presentes na Tabela 2. Nesse processo foi montada uma matriz de correlação

Tabela 1. Modelos estatísticos ajustados para estimar o volume com e sem casca.

Nº	Modelo matemático	Autor
(1)	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	(Hohenad-Krenn)
(2)	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2$	(Kopecky-Gehrhardt)
(3)	$V = \beta_0 + \beta_1 (d^2 h)$	(Spurr)
(4)	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 (d^2 h) + \beta_3 (dh^2) + \beta_4 h^2$	(Naslund)
(5)	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 (dh) + \beta_4 (d^2 h)$	(Meyer Mod.)
(6)	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$	(Schumacher-Hall)

Em que: V = volume individual (m³); ln= logaritmo neperiano; d = diâmetro à altura do peito (cm); h = altura (m).

Tabela 2. Equações geradas por processo *Stepwise-forward* para estimativa do volume com e sem casca de *P. gigantocarpa*.

Nº	Modelos com seleção de variáveis (<i>Stepwise</i>)
Volume total c/c	
7	$V_{total/c} = \beta_0 + \beta_1 d^2 \cdot h_{total} + \beta_2 d^2 \cdot h_{com} + \beta_3 \ln d \cdot \ln h_{com}$
8	$\ln V_{total/c} = \beta_0 + \beta_1 dh^2_{total} + \beta_2 dh^2_{com} + \beta_3 \ln d \cdot \ln h_{total}$
Volume total s/c	
7	$V_{total/s/c} = \beta_0 + \beta_1 d^2 \cdot h_{total} + \beta_2 d^2 \cdot h_{com} + \beta_3 \ln d \cdot \ln h_{com}$
8	$\ln V_{total/s/c} = \beta_0 + \beta_1 dh^2_{total} + \beta_2 dh^2_{com} + \beta_3 \ln d \cdot \ln h_{total}$
Volume comercial c/c	
7	$V_{com.c/c} = \beta_0 + \beta_1 \ln d \cdot \ln h_{total}$
8	$\ln V_{com.c/c} = \beta_0 + \beta_1 \cdot d \cdot h_{total}$
Volume comercial s/c	
7	$V_{com.s/c} = \beta_0 + \beta_1 \ln d \cdot \ln h_{total}$
8	$\ln V_{com.s/c} = \beta_0 + \beta_1 d \cdot h_{total}$

simples usando 24 variáveis independentes sendo essas na grandeza original, transformadas ou combinadas visando atingir uma melhor correlação entre as variáveis dependentes e independentes. A partir desse método foram gerados mais dois modelos, sendo um com a variável dependente transformada para logaritmo neperiano, assim denominados modelos 7 e 8. Como os modelos 7 e 8 não possuem uma variável independente fixa, devido ao processo de seleção de variáveis (*Stepwise*), para esses modelos, as variáveis independentes foram apresentadas separadamente.

O critério de seleção do melhor modelo considerou o valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos (VPE) para: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{yx}) e valor de F. O Valor Ponderado foi calculado atribuindo-se valores ou pesos aos parâmetros estatísticos. As estatísticas foram ordenadas de acordo com a sua eficiência, sendo atribuído peso 1 para a equação mais eficiente, 2 para a segunda e assim sucessivamente (*Ranking*), conforme metodologia descrita por Thiersch (1997). Após essa classificação individual, efetuou-se o somatório da pontuação para cada modelo volumétrico, sendo que a equação ajustada que recebeu a menor soma foi recomendada como a mais adequada para uso. Adicionalmente, para cada modelo ajustado foi realizada a análise gráfica dos resíduos, visando verificar a existência de possíveis tendências na curva de ajuste.

Nos modelos em que a variável dependente sofreu transformação logarítmica nas suas unidades originais, o coeficiente de determinação foi recalculado a fim de permitir a comparação com os coeficientes obtidos nos demais modelos. Para tanto, foi realizada a correção da discrepância logarítmica, multiplicando o peso estimado de cada árvore pelo Fator de Correção de Meyer (Expressão matemática 1). Todas as análises foram executadas no ambiente R para computação estatística (R Development Core Team, 2011).

$$FC = e^{0,5S_{yx}} \quad (1)$$

em que:

- e - 2,718281828;
- S_{yx} - erro padrão da estimativa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os modelos gerados pelo método *Stepwise-forward*, foram os que melhor se ajustaram para estimativa do volume total individual com e sem casca (Tabela 3). Os resultados dos indicadores estatísticos de qualidade dos ajustes dos modelos são apresentados na Tabela 4. O melhor modelo ajustado para estimativa de volume total com casca foi o modelo (7), o qual apresentou as seguintes estatísticas ($R^2_{aj} = 0,94$, $S_{yx} \% = 10,99$ e menor valor de VPE). Os resultados dos ajustes mostraram que houve uma variação no $S_{yx} \%$ entre 10,99 e 18,99; R^2_{aj} de 0,83 e 0,94; F de 36,76 e 208,11 e no VPE de 6 e 31. Para estimativa do volume total sem casca o melhor modelo ajustado foi o 7 ($R^2_{aj} = 0,94$, $S_{yx} \% = 11,37$ e menor valor de VPE). Os resultados dos ajustes mostraram que houve uma variação no $S_{yx} \%$ entre 11,37 e 19,33; R^2_{aj} de 0,83 e 0,94; F de 35,29 e 204,99 e no VPE de 6 e 31. Todos os coeficientes ajustados para estimativa do volume em *P. gigantocarpa* são apresentados na Tabela 3.

Machado et al., (2002) concluíram que o modelo de Meyer apresentou, em média, o melhor desempenho para estimar

Tabela 3. Coeficientes ajustados para estimativa do volume com e sem casca de *P. gigantocarpa*.

Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4
Volume total c/c					
1	-0,149132	0,005960	0,000598	-	-
2	-0,047049	0,000681	-	-	-
3	0,005364	0,000035	-	-	-
4	-0,177668	0,000004	0,000040	-0,000029	0,001158
5	0,174947	-0,027223	0,000446	0,001055	0,000015
6	-10,806255	1,883394	1,327440	-	-
7	-0,802448	0,000051	-0,000063	0,145025	-
8	-9,031370	-0,000083	-0,000056	0,960430	-
Volume total s/c					
1	-0,164829	0,006212	0,000551	-	-
2	-0,058415	0,000638	-	-	-
3	-0,008640	0,000032	-	-	-
4	-0,039823	-0,000081	0,000036	-0,000002	0,000199
5	0,035454	-0,005000	-0,000034	0,000206	0,000034
6	-10,955065	1,934668	1,285972	-	-
7	-0,722236	0,000047	-0,000057	0,129014	-
8	-8,662147	-0,002042	-0,000075	0,907387	-
Volume comercial c/c					
1	-1,000681	0,065440	-0,000543	-	-
2	0,120254	0,000374	-	-	-
3	0,217740	0,000039	-	-	-
4	-0,154525	0,000166	0,000085	-0,000402	0,009415
5	-0,838637	0,034206	-0,000002	0,002445	-0,000044
6	-8,136257	1,979538	0,223946	-	-
7	-1,877599	0,241646	-	-	-
8	-2,258985	0,002454	-	-	-
Volume comercial s/c					
1	-0,944855	0,061011	-0,000500	-	-
2	0,100213	0,000355	-	-	-
3	0,200544	0,000036	-	-	-
4	-8,283414	2,011348	0,200565	-	-
5	-0,139587	0,000136	0,000085	-0,000393	0,008821
6	-0,800738	0,034419	-0,000043	0,002032	-0,000036
7	-1,783200	0,228114	-	-	-
8	-2,372885	0,002503	-	-	-

Em que: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = coeficientes do modelo.

o volume total com e sem casca da espécie *Pinus oocarpa* Schiede, porém o mesmo não ocorreu para espécie do presente estudo. Dessa forma, verificou-se a necessidade de realizar o ajuste de modelos matemáticos para espécies diferenciadas.

Com base em dados coletados em plantios jovens de *Tectona grandis* L. f. no estado de Mato Grosso, Drescher (2004) ajustou dezessete modelos lineares e não lineares para estimativa do volume total com casca, constatando que o modelo de Berkhout, o qual utiliza apenas uma variável de simples entrada, foi o único em que o coeficiente de determinação ajustado foi abaixo 0,9. No presente estudo utilizando o modelo de simples entrada de Kopecky-Gehrhardt, o coeficiente de determinação ajustado ficou abaixo de 0,9 para estimativas do volume total e comercial, com e sem casca, evidenciando que o modelo de simples entrada não resultou em um bom ajuste.

Na Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará, Silva et al., (1984) selecionaram equações de volume para andiroba (*Carapa guianensis*), abiurana (diversos gêneros), jutáí-açu (*Hymenaea courbaril*), jarana (*Holopyxidium jarana*), ucuuba-da-terra-firme (*Virola* sp), taxi vermelho (*Sclerolobium chrysophyllum*), maçaranduba (*Manilkara huberi*), além de equações abrangentes para qualquer espécie. Os autores observaram que o modelo de Schumacher-Hall, ajustou-se melhor aos dados de todas as espécies, com exceção de taxi-vermelho.

Tabela 4. Indicadores estatísticos de qualidade e ajuste dos modelos estatísticos para estimativa do volume com e sem casca de *P. gigantocarpa*.

Modelos	FC	R ² _{aj}	S _{xy} %	F	VPE
Volume total c/c					
1	-	0,827	18,93	60,70	31
2	-	0,834	18,54	126,54	25
3	-	0,892	14,93	208,12	7
4	-	0,881	15,70	47,21	24
5	-	0,880	15,73	47,02	27
6	1,008	0,890	15,08	172,00	10
7	-	0,942	10,99	135,55	6
8	1,005	0,930	12,03	147,15	7
Volume total s/c					
1	-	0,827	19,27	60,77	31
2	-	0,834	18,88	126,65	25
3	-	0,891	15,31	204,99	7
4	-	0,878	16,21	45,86	24
5	-	0,878	16,21	45,82	27
6	1,007	0,889	15,49	168,81	10
7	-	0,939	11,37	131,22	6
8	1,005	0,924	12,77	137,54	7
Volume comercial c/c					
1	-	0,580	27,10	18,28	19
2	-	0,553	27,97	31,94	21
3	-	0,430	31,57	19,89	28
4	-	0,592	26,71	10,07	16
5	-	0,604	26,32	10,53	11
6	1,014	0,565	27,57	4,52	27
7	-	0,628	25,49	43,32	3
8	1,017	0,484	30,05	9,58	31
Volume comercial s/c					
1	-	0,588	27,33	18,84	17
2	-	0,561	28,20	33,01	21
3	-	0,417	32,52	18,87	28
4	-	0,592	27,20	10,06	14
5	-	0,601	26,90	10,41	11
6	1,013	0,561	28,19	4,52	27
7	-	0,630	25,89	43,65	3
8	1,015	0,490	30,40	9,60	31

Em que: FC = fator de correção de Meyer; R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{xy} = erro-padrão da estimativa em porcentagem; F = valor de F da análise da variância; e VPE = Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos.

No estudo em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso, para estimativa do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais, Colpini et al., (2009) obtiveram, como melhor modelo, o de Schumacher-Hall para os volumes com e sem casca. Com base nos resultados das estatísticas dos ajustes, o modelo de Schumacher-Hall foi considerado a terceira melhor equação para estimativa do volume total da espécie em estudo, sendo que, as melhores equações foram aquelas onde se utilizou o processo de seleção de variáveis (*Stepwise-forward*), processo esse não utilizado pelos autores citados anteriormente. Dessa forma, pode-se evidenciar a eficiência do método (*Stepwise-forward*) aplicado no presente estudo para melhorar os indicadores de qualidade e precisão dos ajustes.

Os modelos selecionados não apresentaram tendências a sub ou superestimar os volumes (Figura 1). Essa análise gráfica dos resíduos mostrou que a dispersão dos pontos manteve-se, em sua grande maioria, na faixa residual dos 20%. Com base nos ajustes para estimativa do volume total com casca de povoamento em fragmentos florestais naturais no município de Viçosa, Minas Geras, Oliveira et al., (2005) observaram que as equações de Spurr (1952) e Ung e Quellet (1991), mesmo se destacando por exibirem maiores valores de R²_{aj}, na análise gráfica dos resíduos esses modelos tenderam a uma pequena superestimação em locais com baixo estoque volumétrico e não foram indicados pelos autores. No presente estudo os modelos indicados apresentaram melhores distribuições dos resíduos quando comparado com os demais, confirmando sua aplicabilidade. Os modelos para estimativa dos volumes comerciais com e sem casca apresentaram valores relativamente baixos para os coeficientes de determinação ajustados e altos para os erros padrão, quando comparados com os resultados dos ajustes para estimativa dos volumes total. Esse resultado provavelmente deve estar relacionado com a baixa correlação apresentadas entre as variáveis independentes com o volume comercial. Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentados os coeficientes dos modelos ajustados, as

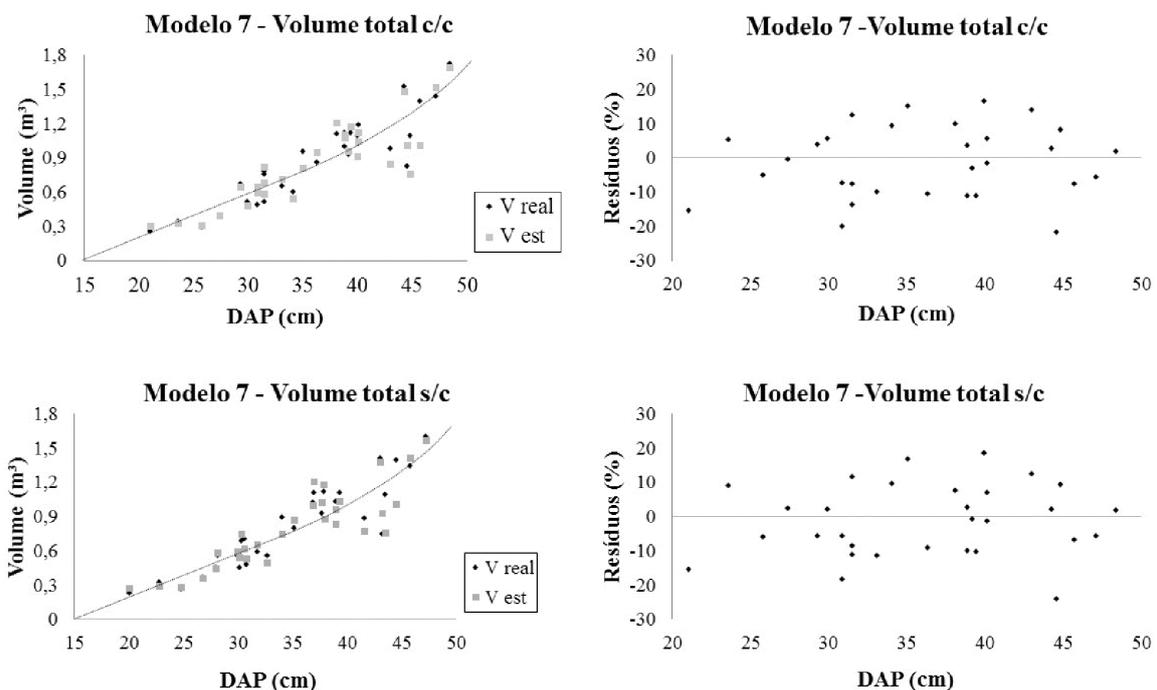


Figura 1. Análise gráfica da dispersão dos resíduos para a estimativa do volume total com e sem casca de *P. gigantocarpa*.

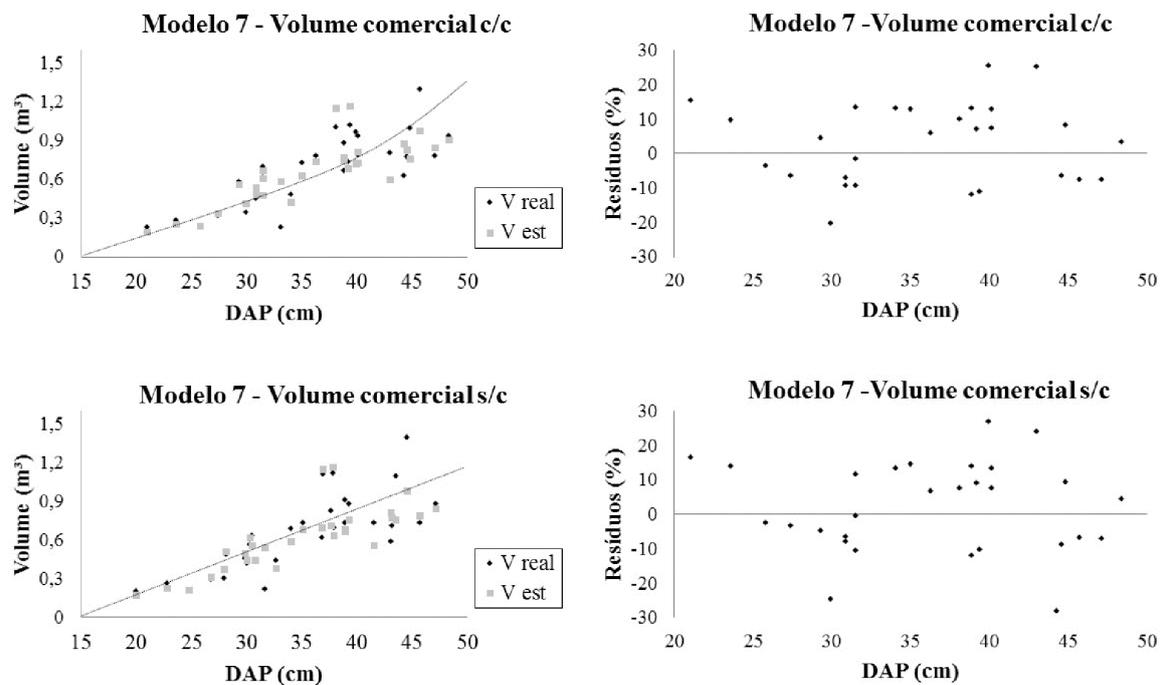


Figura 2. Análise gráfica da dispersão dos resíduos para a estimativa do volume comercial com e sem casca de *P. gigantocarpa*.

variáveis independentes referentes ao processo de seleção de variáveis (*Stepwise-forward*), e as estatísticas de ajuste e precisão, respectivamente.

Foi observado que o modelo 7 foi o que melhor se ajustou para estimativa do volume comercial com e sem casca, com valores em torno de 25% para o erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e 0,63 para o coeficiente de determinação (R^2_{aj}).

Na pesquisa sobre a dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no Estado de Roraima - andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), Tonini et al., (2005) ajustaram modelos para estimativa do volume comercial com casca para as diferentes espécies, diante dos resultados, observaram que o modelo volumétrico de dupla entrada foi o que melhor se ajustou para a andiroba, castanha-do-Brasil, ipê-roxo e jatobá foram as Stoate, Spurr, Meyer e Stoate não linear, respectivamente. Levando em consideração esses modelos, o de Spurr foi o que apresentou melhor resultado para *P. gigantocarpa*, pelo fato das espécies avaliadas pelos autores a castanha-do-brasil apresentar características de forma mais próximas da espécie no presente estudo.

Da mesma forma que para a estimativa do volume total, a análise gráfica dos resíduos para a estimativa do volume comercial (Figura 2) não apresentaram tendências a sub ou superestimar os volumes apesar da dispersão dos pontos manterem-se, em sua grande maioria, na faixa dos 40%. Os melhores resultados para essas análises foram observados nos modelos selecionados pelo processo *Stepwise-forward*, esses modelos são os melhores para estimar o volume comercial com e sem casca.

Entre os modelos de simples entrada ajustados para estimativa do volume comercial sem casca de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região Norte do estado de Goiás, Miguel (2009) observou que além das piores estatísticas de ajuste e precisão apresentados referentes ao modelo de Kopezky-Gehardt, também foi verificado na análise de dispersão de resíduos uma clara tendência em subestimar o

volume nos menores diâmetros, essa mesma tendência também foi verificada no presente estudo.

Para os modelos de dupla entrada, Machado et al., (2008) relataram no trabalho relacionado com modelagem volumétrica para bracinga (*Mimosa scabrella* Benth), que os resíduos do modelo Spurr apresentaram tendências a subestimar os volumes comercial das menores árvores. No presente estudo o modelo de Spurr apresentou tendência em superestimar nos diâmetros de 5 a 15 cm e subestimar nos diâmetros de 20 a 25 cm.

Com base em dados coletados para o ajuste de equações para estimativa de volume comercial de madeira para região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea - AM, Thaines et al., (2010) selecionaram o modelo Shumacher-Hall, porém esse apresentou leve subestimativa na análise gráfica dos resíduos. Verificou-se ainda, que o modelo de Shumacher-Hall apresentou tendência em subestimar o volume comercial com e sem casca nos maiores e menores diâmetros, o que possivelmente causaria prejuízos e problemas no planejamento florestal.

4. CONCLUSÕES

Os melhores modelos são aqueles gerados por meio do processo de seleção de variáveis (*Stepwise-forward*). Dessa forma, pode-se afirmar que a utilização desse método contribui para a melhoria dos indicadores de qualidade e precisão dos ajustes, permitindo estimativas confiáveis.

Os resultados deste e de outros estudos sugerem que o ajuste de equações volumétricas por espécie permite estimar com maior precisão o volume individual das espécies nativas, assim recomendamos sempre que possível, a realização de ajustes específicos com uma ampla base de dados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. *Anuário 2013*. 2013, 146p.

- BRASIL. Ministério de Minas de Energia: Departamento Nacional da produção mineral. **Projeto RADAM Brasil**. Folhas sc. 21. Juremo: Geomorfologia, pedologias, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: 1980. 460 p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 20).
- COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; MORAES, S. V. S. 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**, Manaus, v. 39 n.1, p. 97-104, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000100010>
- CUNHA, U. S. **Dendrometria e Inventário Florestal**: Série Técnica adaptada para atender ao Módulo de Dendrometria e Inventário no curso Técnico em Manejo Florestal. EAF - Manaus, 2004, 53p.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression Analysis**. 2^{ed}. New York: John Wiley & Sons Inc; 1980. 709p.
- DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn F., em povoamentos jovens de duas regiões do Mato Grosso - Brasil**. 2004. 133 f. Tese (Doutorado do Programa de Pós- Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 2004.
- FONSECA, F. H. **Agenda Estratégica do Setor de Florestas Plantadas**. Câmara Setorial de Silvicultura, [s.l.],[s.n.]Brasília. 2009. 36p.
- GOMES, J. M.; CARVALHO, J. O. P.; SILVA, M. G.; NOBRE, D. N. V.; TAFFAREL, M. F.; JOSUÉ, E. R.; SANTOS, R. N. J. Sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em clareiras causadas pela colheita de madeira em uma floresta de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 1, p. 171-178, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000100022>
- MACHADO, S. A.; AGUIAR, L. P.; FIGUEIREDO FILHO, A.; KOEHLER, H. S. Modelagem do volume do povoamento para *Mimosa scabrella* Benth. na região metropolitana de Curitiba. **Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 465-478, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000300009>
- MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 185-197, 2002.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 1. ed. Curitiba: 2003. 309p.
- MIGUEL, E. P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do Estado de Goiás**. 2009. 165 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Paraná, 2009.
- MIRANDA, M. C.; CASTELO, P. A. R.; MIRANDA, D. L. C.; RONDON, E. V. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 55-65, 2012. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v03n02a09>
- OLIVEIRA, M. L. R.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G. Equações de volume de povoamento para fragmentos florestais naturais do município de viçosa, Minas Gerais. **Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 213-225, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000200005>
- OLIVEIRA, A. K. M.; RIBEIRO, J. W. F.; PEREIRA, K. C. P.; RONDON, E. V.; BECKER, T. J. A.; BARBOSA, L. A. Superação de dormência em sementes de *Parkia gigantocarpa* (Fabaceae – Mimosoidae). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 533-540, 2012. <http://dx.doi.org/10.5902/198050986620>
- PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas**: Anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso. Brasília, 1997, 543p.
- R Development Core Team, 2011. **R**: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.R-project.org>.
- RONDON, E. V. **Economia**: Empaer apresenta em Sinop espécies pesquisadas para reforestamento. Só Notícias; 2011. Disponível em: <<http://www.sonoticias.com.br/noticia/economia/empaer-apresenta-em-sinop-especies-pesquisadas-para-reforestamento>>. Acesso em 31 jul. 2015.
- SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; DALLA CORTE, A. P.; FERNANDES, L. A. V. **Inventários florestais**: planejamento e execução. 2^a ed., 2009. 307 p.
- SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em Resumo**, 2013. 188 p.
- SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. C. A.; CARVALHO, M. S. P. Equações de volume para a floresta nacional do tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 8/9, p. 50-63, 1984.
- SPURR, S.H. 1952. **Forestry inventory**. Ronald Press, New York. 476p.
- THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa de volume de madeira para região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 283-289, 2010. <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.283>
- THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis***. 1997. 155 f. Dissertação (Mestrado em engenharia florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.
- THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.
- TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. P. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no Estado de Roraima - Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), Ipê-roxo (*Tabebuia avellanadae* Lorentz ex Griseb) e Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 3, p. 353-362, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000300008>
- UNG, C.H.; OUELLET, D. Stand volume tables: application to black spruce stands of Lebel-sur-Quévillon. **Forestry Chronicle**, Canadá, v. 67, n. 6. p. 712-715, 1991. <http://dx.doi.org/10.5558/tfc67712-6>