

SELEÇÃO DE MODELOS HIPSONÔMETRICOS PARA QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS EM PLANTIO MISTO NO PLANALTO DA CONQUISTA NA BAHIA

Gileno Brito de Azevedo¹, Glauce Taís de Oliveira Sousa¹, Helane França Silva¹,
Patrícia Anjos Bittencourt Barreto², Adalberto Brito de Novaes²

¹ Graduando em Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).
(gilenoiba@hotmail.com)

² Professor Doutor do curso de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Estrada do Bem Querer, Km 4, (77) 3424-8600 Vitória da Conquista - BA

Data de recebimento: 02/05/2011 - Data de aprovação: 31/05/2011

RESUMO

Conhecer o volume de madeira de uma floresta é de suma importância. Para tanto, torna-se necessário o estudo de relações biométricas, dentre as quais está a relação hipsométrica, que possibilita estimar com precisão alturas das árvores. Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo ajustar e selecionar modelos hipsométricos mais adequados para quatro espécies florestais nativas em plantio misto (sete-cascas, ipê branco, ipê roxo e ipê amarelo) no Planalto da Conquista, município de Vitória da Conquista - BA. Para tanto, foram coletados dados de altura e diâmetro das quatro espécies e, a partir deles, foram ajustados 13 modelos hipsométricos para cada uma das espécies. Os melhores modelos foram selecionados com base em critérios estatísticos: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro-padrão de estimativa ($S_{y,x}$), teste de significância para os coeficientes de regressão e análise gráfica da distribuição dos resíduos. O modelo proposto $\ln(DAP) / \sqrt{(H)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$ foi o mais indicado para as espécies sete-cascas e ipê amarelo, enquanto que os modelos propostos por Stofel e Curtis foram os mais indicados para ipê branco e ipê roxo, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Inventário florestal, variáveis dendrométricas, equações hipsométricas, altura total.

SELECTION OF HYPSONOMETRIC MODELS FOR FOUR NATIVE FOREST SPECIES IN MIXED PLANTING IN THE PLANALTO DA CONQUISTA IN BAHIA

ABSTRACT

Knowing the volume of wood a forest is of utmost importance. For this purpose, it becomes necessary to study the biometric relations, among which, the hypsometric relation, which enables one to estimate accurately the heights of trees. In this context, this study aimed to adjust and select the best hypsometric for four native

forest species in mixed plantation (sete-cascas, ipê branco, ipê roxo and ipê amarelo) in the Planalto da Conquista, in city of Vitória da Conquista - BA. For this, data were collected on height and diameter of the four species, tested 13 models of hypsometric equations, and selected those that best adjusted for each species. The best models were selected based on statistical criteria: coefficient of determination adjusted (R^2_{aj}), standard error of estimate ($S_{y,x}$), test of significance for regression coefficients and graphical analysis of the distribution of residuals. The proposed model $\ln(DAP) / \sqrt{(H)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$ was the most indicated species for the sete-cascas and ipê amarelo, while the models proposed by Stofel and Curtis were the most indicated for ipê branco and ipê roxo, respectively.

KEYWORDS: Forest inventory, dendrometric variables, hypsometric equations, total height.

INTRODUÇÃO

A crescente valorização da madeira e dos produtos florestais, aliada a necessidade do uso social, ecológico e economicamente correto dos recursos florestais oriundos de florestas nativas e plantadas, tem acentuado a importância da quantificação do volume de madeira de uma floresta e, conseqüentemente, aumentado a preocupação com o planejamento, ordenamento e o uso dessa madeira.

A necessidade do planejamento florestal torna necessário o estudo das relações biométricas, dentre as quais está a relação hipsométrica, a qual possibilita conhecer indiretamente com precisão a altura das árvores (ZANON et al., 1996 citado por CALDEIRA et al., 2002).

O emprego da relação hipsométrica é de grande significado prático e um aspecto importante a ser considerado no sistema de coleta de informações. O tempo despendido em medir a altura das árvores representa parcela significativa no custo total de medição, dada a grande dificuldade em realizar tal operação. Então, a partir do estabelecimento de uma relação hipsométrica, as alturas das árvores de uma determinada área ou povoamento florestal podem ser estimadas a partir do DAP, variável esta de fácil mensuração (SILVA, 1980 citado por AZEVEDO et al. 1999).

Ao se empregarem relações hipsométricas para estimar a altura das árvores, alguns cuidados devem ser tomados, a fim de evitar erros grosseiros de estimação das alturas. Diversos autores destacam que as relações hipsométricas são afetadas por diferentes fatores, podendo-se citar a idade, a qualidade do local, a densidade, posição sociológica e as práticas silviculturais (LOETSCH et al., 1973; FINGER, 1992; SCOLFORO, 1993; BATISTA et al., 1986). Por essa razão, é conveniente ter bastante cautela na escolha das árvores que comporão a amostra a ser utilizada no ajuste da relação hipsométrica (SILVA et al., 2007).

O uso de equações hipsométricas no inventário florestal tem sido cada vez mais frequente, tornando-o mais econômico e, na maioria das vezes, tão preciso quanto ao realizado medindo-se a altura de todas as árvores da parcela (MACHADO et al., 1993).

Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo ajustar e selecionar modelos matemáticos adequados para descrever a relação hipsométrica de quatro espécies florestais nativas (sete-cascas, ipê branco, ipê roxo e ipê amarelo) em um povoamento misto no município de Vitória da Conquista-BA.

METODOLOGIA

Área de estudo

Os dados utilizados foram obtidos em uma área experimental de plantio misto composto de cinco espécies florestais nativas: sete-cascas (*Alchornea triplinervia* (Spreng.) Müll. Arg.), ipê branco (*Tabebuia roseo-alba* (Ridl)), ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) e ipê amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nich) e aroeira (*Astronium urundeuva* (Fr. All.) Engl.), com 10 anos de idade, localizada no Campo Agropecuário da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), município de Vitória da Conquista - BA situado no Planalto da Conquista. Na área, as espécies estão dispostas em dois blocos de plantas, com cinco parcelas lineares apresentando cada uma 15 indivíduos da mesma espécie, com um total de 75 plantas em cada bloco, perfazendo um total de 150 plantas no experimento, com espaçamento de 4,0 m entre linhas e 3,0 m na linha. No entanto, devido à mortalidade inicial de algumas mudas, a área não apresenta a mesma quantidade de plantas para todas as espécies.

De acordo com NOVAES et al. (2008), o clima da região é classificado como semi-árido, considerado ameno devido a altitude, que apresenta média de 800 m. A temperatura média anual é de 21°C e a precipitação varia entre 700 e 1100 mm anuais, distribuída nos meses de novembro a março, com um período seco de quatro a cinco meses. A topografia é plana a levemente ondulada e apresenta uma vegetação característica denominada “Mata de Cipó”, classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana. Ainda segundo estes autores, o solo da região trata-se de um Latossolo Amarelo Distrófico.

Coleta de dados

Foram utilizadas quatro das cinco espécies presentes no plantio misto: sete-cascas, ipê branco, ipê roxo e ipê amarelo, mensurando-se altura (H) e diâmetro a altura do peito (DAP) de cada indivíduo, totalizando 27, 30, 25 e 15 árvores medidas de cada espécie, respectivamente. Nas árvores bifurcadas, optou-se pela utilização da bifurcação de maior diâmetro para o ajuste dos modelos. As medições foram realizadas com o emprego de um hipsômetro eletrônico Haglof e suta.

Modelos Hipsométricos

Foram avaliados 13 modelos matemáticos, conforme dispostos no Quadro 1, sendo nove modelos encontrados na literatura e quatro modelos propostos no presente trabalho, visando identificar um modelo com ajuste mais adequado para cada uma das espécies estudadas.

QUADRO 1. Modelos de relação hipsométrica utilizados para estimar a altura total das espécies.

Nº	Modelos	Autor
1	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon$	Campos e Leite (2002)
2	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Azevedo et al. (1999)
3	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$	Henricksen ²
4	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Parabólico ^{1,3}
5	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$	Curtis ¹
6	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(DAP) + \varepsilon$	Stofel ¹
7	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Azevedo et al. (1999)
8	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \beta_2 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$	Silva (1980) apud. Azevedo (1999)
9	$\ln(DAP) / \sqrt{H} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$	Proposto
10	$\sqrt{H} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \sqrt{DAP} + \varepsilon$	Proposto
11	$\sqrt{H} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$	Proposto
12	$DAP / \sqrt{H} = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon$	Azevedo et al. (1999)
13	$DAP / \sqrt{H} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/DAP) + \beta_2 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Proposto

Onde: H = altura total em metros; DAP = Diâmetro a altura do peito em centímetros; β_0 , β_1 e β_2 = Parâmetros do modelo a ser estimado; Ln = Logaritmo neperiano; e Log = Logaritmo na base 10. ¹ Modelos citados por: Scolforo (1993), Bartoszeck et al. (2002) e Machado et al. (2008); ² Modelo citado por: Machado et al. (2008); ³ Campos e Leite (2002).

Critérios para seleção dos modelos

A seleção dos modelos mais indicados às espécies foi baseada nos seguintes critérios: (i) coeficiente de determinação ajustado em porcentagem (R^2_{aj} (%)), (ii) erro-padrão da estimativa em porcentagem ($S_{y.x}$ %), (iii) teste de significância (teste “t” de Student) para os coeficientes de regressão (β_0 , β_1 e β_2) e (iv) análise gráfica da distribuição dos resíduos. Uma breve descrição de cada um desses critérios é apresentada a seguir:

(i) O coeficiente de determinação ajustado em porcentagem (R^2_{aj} (%)) representa a porcentagem da variação dos dados observados em torno da média. Quanto mais próximo de 100, maior é a precisão da equação. Porém, de acordo Machado et al. (2008), essa estatística não pode ser recomendada para comparação de modelos com variáveis dependentes diferentes, sendo necessário, portanto, um reajuste, utilizando uma estatística semelhante ao R^2 chamada de Índice de Schlaegel, e possui a seguinte expressão matemática:

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \cdot \left(\frac{Sq.res}{Sq.tot} \right)$$

Onde:

n = Número de dados observados;
 p = Número de coeficientes do modelo;
 $Sq.res$ = Soma dos quadrados dos resíduos para a variável de interesse;
 $Sq.tot$ = Soma dos quadrados total para a variável de interesse.

(ii) O erro-padrão da estimativa ($S_{y.x}$) informa a qualidade do ajuste, sendo que, quanto mais próximo de zero, maior será a precisão, indicando a proximidade em que os valores estimados estão dos valores observados. Segundo MACHADO et al. (2008), esse critério informa o quanto, relativamente, o modelo erra em média ao estimar a variável independente. Os mesmos autores ainda informam que quando a variável dependente passou por alguma transformação, é necessário recalculá-la para que esse possa ser comparável com erro-padrão dos modelos cuja variável dependente não sofreu transformação. Essa correção é efetuada a partir da seguinte expressão matemática:

$$Sy.x_{recalc} = \sqrt{\frac{\sum(h_o - h_e)^2}{n - p}}$$

Desta forma, o erro-padrão da estimativa em porcentagem ($S_{y.x}\%$) é dado por:

$$Sy.x_{recalc}\% = \frac{Sy.x_{recalc}}{\bar{h}} \cdot 100$$

Onde:

h_o = Altura observada (m);
 h_e = Altura estimada pela equação (m);
 $\bar{h}$ = Média aritmética das alturas
 n = Número de dados observados;
 p = Número de coeficientes do modelo.

(iii) O critério da utilização da significância dos coeficientes dos modelos de regressão testados (β_0 , β_1 e β_2), também utilizado por AZEVEDO et al. (1999), permite que sejam descartados até mesmo modelos que apresentem valores altos de R^2_{aj} e baixo erro estimado. Sendo assim, esse critério permite uma seleção mais adequada dos modelos para estimar as variáveis desejadas. Segundo SOARES et al. (2006), se algum parâmetro for estatisticamente igual a zero, teoricamente essa variável deveria ser retirada da equação e uma nova equação deveria ser ajustada sem ela, a menos que essa variável apresente um caráter explicativo muito forte para o fenômeno, que justifique sua permanência.

(iv) A análise gráfica dos resíduos, em um ajuste de regressão, é determinante como critério de escolha de um modelo, mesmo que as estimativas de ajuste de precisão apresentem valores aceitáveis, indicando assim, se a equação ajustada subestima ou superestima os valores da variável independente (MACHADO et al., 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados provenientes dos ajustes dos 13 modelos hipsométricos testados para a estimativa da variável altura total (H), em função do DAP, das quatro

espécies estudadas estão apresentados no Quadro 2. As estatísticas de ajuste e precisão dos referidos modelos encontram-se na Tabela 1.

QUADRO 2. Equações hipsométricas ajustadas para as espécies sete-cascas (A), ipê branco (B), ipê rosa (C) e ipê amarelo (D) em plantio misto no Planalto da Conquista, Vitória da Conquista-BA.

Modelo	Espécie	Equação ajustada
1	A	$H = 2,9554618 + 0,24354403 \cdot DAP + \varepsilon$
	B	$H = 3,5225079 + 0,19898588 \cdot DAP + \varepsilon$
	C	$H = 2,90179632 + 0,34669749 \cdot DAP + \varepsilon$
	D	$H = 1,96969436 + 0,38097139 \cdot DAP + \varepsilon$
2	A	$H = 4,07151701 + 0,01233903 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	B	$H = 1,49187726 + 0,01077158 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	C	$H = 4,62373068 + 0,01548156 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	D	$H = 3,77819403 + 0,01634674 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
3	A	$H = 0,72575153 + 2,0527012 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$
	B	$H = 4,41321392 + 1,75970244 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$
	C	$H = -1,20310777 + 3,38819906 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$
	D	$H = -2,14838915 + 3,57521925 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$
4	A	$H = 1,64150242 + 0,55514382 \cdot DAP - 0,01707545 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	B	$H = 3,2466537 + 0,2612774 \cdot DAP - 0,00340856 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	C	$H = 0,56814396 + 0,84848314 \cdot DAP - 0,0237951 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	D	$H = -1,92439013 + 1,30061166 \cdot DAP - 0,04625011 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
5	A	$\ln(H) = 1,99333141 - 3,02297197 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
	B	$\ln(H) = 1,993946865 - 2,86988657 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
	C	$\ln(H) = 2,37590363 - 4,84615654 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
	D	$\ln(H) = 2,40876966 - 5,87400691 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
6	A	$\ln(H) = 0,72091058 + 0,96596416 \cdot \log(DAP) + \varepsilon$
	B	$\ln(H) = 0,92400563 + 0,782116 \cdot \log(DAP) + \varepsilon$
	C	$\ln(H) = 0,5267951 + 1,33067882 \cdot \log(DAP) + \varepsilon$
	D	$\ln(H) = 0,01584133 + 1,77905405 \cdot \log(DAP) + \varepsilon$
7	A	$\ln(H) = 1,40953267 + 0,00246698 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	B	$\ln(H) = 1,49187726 + 0,00207178 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	C	$\ln(H) = 1,53109653 + 0,00254912 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	D	$\ln(H) = 1,30795254 + 0,00336951 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
8	A	$\ln(H) = 0,71595084 + 0,42113083 \cdot \ln(DAP) + 0,01209199 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
	B	$\ln(H) = -0,7242796 + 0,85893231 \cdot \ln(DAP) + 4,49598759 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
	C	$\ln(H) = 1,74809575 + 0,19784253 \cdot \ln(DAP) - 3,23281852 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
	D	$\ln(H) = 3,4167391 - 0,33351895 \cdot \ln(DAP) - 8,24037434 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
9	A	$\ln(DAP)/\sqrt{H} = 1,18330835 - 1,90787866 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
	B	$\ln(DAP)/\sqrt{H} = 1,21827657 - 2,35906533 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
	C	$\ln(DAP)/\sqrt{H} = 1,03619182 - 1,26016253 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
	D	$\ln(DAP)/\sqrt{H} = 0,99660837 - 0,64307224 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$
10	A	$\sqrt{H} = 0,84117082 + 0,29544229 \cdot \sqrt{DAP} + \varepsilon$
	B	$\sqrt{H} = 0,86129577 + 0,28968826 \cdot \sqrt{DAP} + \varepsilon$
	C	$\sqrt{H} = 0,86901298 + 0,28518714 \cdot \sqrt{DAP} + \varepsilon$
	D	$\sqrt{H} = 0,84531699 + 0,2929993 \cdot \sqrt{DAP} + \varepsilon$
11	A	$\sqrt{H} = 1,26515320 + 0,23116150 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$
	B	$\sqrt{H} = 1,46003242 + 0,19299827 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$
	C	$\sqrt{H} = 0,95019205 + 0,3475273 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$
	D	$\sqrt{H} = 0,56137579 + 0,41221104 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$
12	A	$DAP/\sqrt{H} = 0,7514208 + 0,35407357 \cdot DAP + \varepsilon$
	B	$DAP/\sqrt{H} = 0,67660378 + 0,35798973 \cdot DAP + \varepsilon$
	C	$DAP/\sqrt{H} = 1,0359089 + 0,28732707 \cdot DAP + \varepsilon$

	D	$DAP/\sqrt{H} = 1,18677018 + 0,29133676 \cdot DAP + \varepsilon$
13	A	$DAP/\sqrt{H} = 3,71922458 - 7,56986019 \cdot (1/DAP) + 0,0130802 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	B	$DAP/\sqrt{H} = 4,17661917 - 11,06060548 \cdot (1/DAP) + 0,01185382 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	C	$DAP/\sqrt{H} = 3,53208956 - 6,52839013 \cdot (1/DAP) + 0,01000003 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
	D	$DAP/\sqrt{H} = 2,91903808 - 2,51532095 \cdot (1/DAP) + 0,01281632 \cdot DAP^2 + \varepsilon$

TABELA 1. Estatística de ajuste e precisão requerida para os modelos testados para as quatro espécies.

Espécie	Modelo	R^2_{aj}	$S_{y,x \text{ recalculado}}$	$S_{y,x \text{ recalculado}} \%$	Teste "t"		
					β_0	β_1	β_2
Sete-casas	1	88,91%	0,635	12,30	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	2	90,20%	0,597	11,57	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	3	88,53%	0,646	12,51	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	4	43,84%	0,589	11,40	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$
	5	94,70%	0,537	10,40	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	...
	6	94,50%	0,537	10,39	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	7	95,51%	0,539	10,45	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	8	43,17%	0,113	2,19	$Bi = 0$	$Bi \neq 0$	$Bi = 0$
	9	93,79%	0,312	6,04	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	...
	10	94,85%	0,555	10,75	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	11	96,43%	0,741	14,34	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	12	67,20%	1,296	25,11	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	13	5,54%	0,220	4,25	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$
Ipê branco	1	64,94%	0,326	6,16	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	2	65,41%	0,323	6,11	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	3	65,38%	0,324	6,12	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	4	64,91%	0,451	8,53	$Bi \neq 0$	$Bi = 0$	$Bi = 0$
	5	67,92%	0,088	1,66	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	...
	6	66,63%	0,087	1,64	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	...
	7	66,89%	0,087	1,64	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	8	65,88%	0,086	1,63	$Bi = 0$	$Bi \neq 0$	$Bi = 0$
	9	39,83%	0,040	0,76	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	...
	10	0,06%	0,002	0,03	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	11	65,95%	0,097	1,83	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	12	7,09%	0,159	3,01	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	13	6,91%	0,157	2,97	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$
Ipê roxo	1	83,22%	1,297	20,29	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	2	84,76%	1,236	19,34	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	3	82,42%	1,327	20,77	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	4	32,63%	0,946	14,80	$Bi = 0$	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$
	5	92,24%	0,774	12,11	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	...
	6	92,43%	0,775	12,12	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	7	93,89%	0,781	12,21	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	8	31,13%	0,150	2,35	$Bi \neq 0$	$Bi = 0$	$Bi \neq 0$
	9	97,69%	0,378	5,91	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	...
	10	95,11%	0,733	11,47	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	11	94,06%	1,061	16,60	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	12	71,32%	1,659	25,96	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	13	6,28%	0,272	4,26	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$
Ipê amarelo	1	90,12%	1,277	25,99	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	2	92,48%	1,114	22,67	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	3	88,25%	1,392	28,33	$Bi = 0$	$Bi = 0$	...
	4	19,93%	0,690	15,16	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$
	5	93,37%	1,138	23,15	$Bi \neq 0$	$Bi \neq 0$	...

6	93,94%	1,141	23,22	<i>Bi</i> = 0	<i>Bi</i> ≠ 0	...
7	96,47%	1,156	23,53	<i>Bi</i> = 0	<i>Bi</i> = 0	...
8	17,46%	0,140	2,85	<i>Bi</i> ≠ 0	<i>Bi</i> = 0	<i>Bi</i> ≠ 0
9	99,75%	0,664	13,51	<i>Bi</i> ≠ 0	<i>Bi</i> ≠ 0	...
10	98,31%	1,204	24,51	<i>Bi</i> = 0	<i>Bi</i> = 0	...
11	96,45%	1,612	32,82	<i>Bi</i> = 0	<i>Bi</i> = 0	...
12	87,83%	2,528	51,46	<i>Bi</i> = 0	<i>Bi</i> = 0	...
13	4,98%	0,217	4,42	<i>Bi</i> ≠ 0	<i>Bi</i> ≠ 0	<i>Bi</i> ≠ 0

Analizando as estatísticas de ajuste e precisão encontradas para os modelos hipsométricos testados (Tabela 1), observa-se que grande parte das equações ajustadas apresentaram coeficientes de determinação ajustado (R^2_{aj}) superiores a 80%. Apesar disso, na maior parte dessas equações pelo menos um dos seus parâmetros (β_0 , β_1 e β_2) foram estatisticamente iguais a zero.

Para cada espécie estudada foram verificados dois modelos que apresentaram ajuste adequado em termos estatísticos (Tabela 1). O modelo 5, proposto por Curtis, teve resultados mais satisfatórios à estimativa de altura total para todas as espécies estudadas, apresentando valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) superiores a 67%, erro-padrão da estimativa em percentagem ($S_{y,x}(\%)$) inferiores a 20%, exceto para o ipê amarelo, e coeficientes da equação ajustada (β_0 , β_1 e β_2) estatisticamente diferentes de zero. O modelo 9, proposto neste trabalho, o qual também pode ser desdobrado em $H = \left(\frac{\ln(DAP)}{\beta_0 + \beta_1 / DAP} \right)^2$, adequou-se bem às espécies

estudadas, exceto ao ipê branco, apresentando-se superior aos demais modelos, tendo em vista todos os critérios considerados: valores de R^2_{aj} superiores a 93% e de $S_{y,x}(\%)$ inferiores a 14%, além de todos os parâmetros da regressão apresentarem-se estatisticamente diferentes de zero. Para o ipê branco, o modelo proposto por Stofel também apresentou resultados satisfatórios, com R^2_{aj} em torno de 67% e $S_{y,x}(\%)$ inferior a 2%.

AZEVEDO et al. (1999), estudando relação hipsométrica para quatro espécies florestais nativas (andiroba, sumaúma, ucuúba e ipê-rosa) em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia Ocidental constataram que o modelo 12 foi o mais eficiente para todas as espécies em todas as idades, com R^2_{aj} geralmente variando de 80% até próximo de 99%. Por outro lado, ROCHA et al. (2010), em plantio de *Eucalyptus urophylla* no Planalto da Conquista, em Vitória da Conquista-BA, obtiveram valores máximos do coeficiente de determinação em torno de 76% utilizando o modelo 4 (parabólico).

De acordo com SCOLFARO (1998), tratando-se de relações hipsométricas, é comum que o valor de R^2_{aj} não ultrapasse 80%, uma vez que a correlação altura/diâmetro não é tão forte quanto a altura/volume. RUFINO et al. (2010), utilizando os modelos de Trorey, Stofel, Curtis e Linha reta para um povoamento de eucalipto conduzido pelo sistema de rebrota, obteve valores R^2_{aj} variando entre 55% e 76 %. Esses autores concluíram que o primeiro modelo ($R^2_{aj}=61\%$) apresentou estatísticas de ajuste e precisão sutilmente mais favoráveis aos demais. Machado et al. (2008), estudando relações hipsométricas em *Araucaria angustifolia*, obtiveram as melhores estimativas para a variável altura do fuste utilizando o modelo de Curtis.

Diante do resultado obtido no presente trabalho e nos demais trabalhos encontrados na literatura, percebe-se que as espécies apresentam entre si comportamento diferenciado em relação a alguns modelos, tornando necessário o

ajuste de novas equações a fim de identificar aquelas mais adequadas a cada espécie de acordo com a região que esta encontra-se estabelecida e, ainda, com as condições de manejo em que a floresta foi submetida.

A Figura 1 apresenta as dispersões dos resíduos dos modelos que apresentaram resultados mais satisfatórios para as quatro espécies estudadas (modelos 5, 6 e 9). As distribuições gráficas apresentaram comportamento semelhante entre as equações selecionadas para cada espécie, no entanto, as mesmas equações apresentaram comportamentos diferenciados entre as espécies.

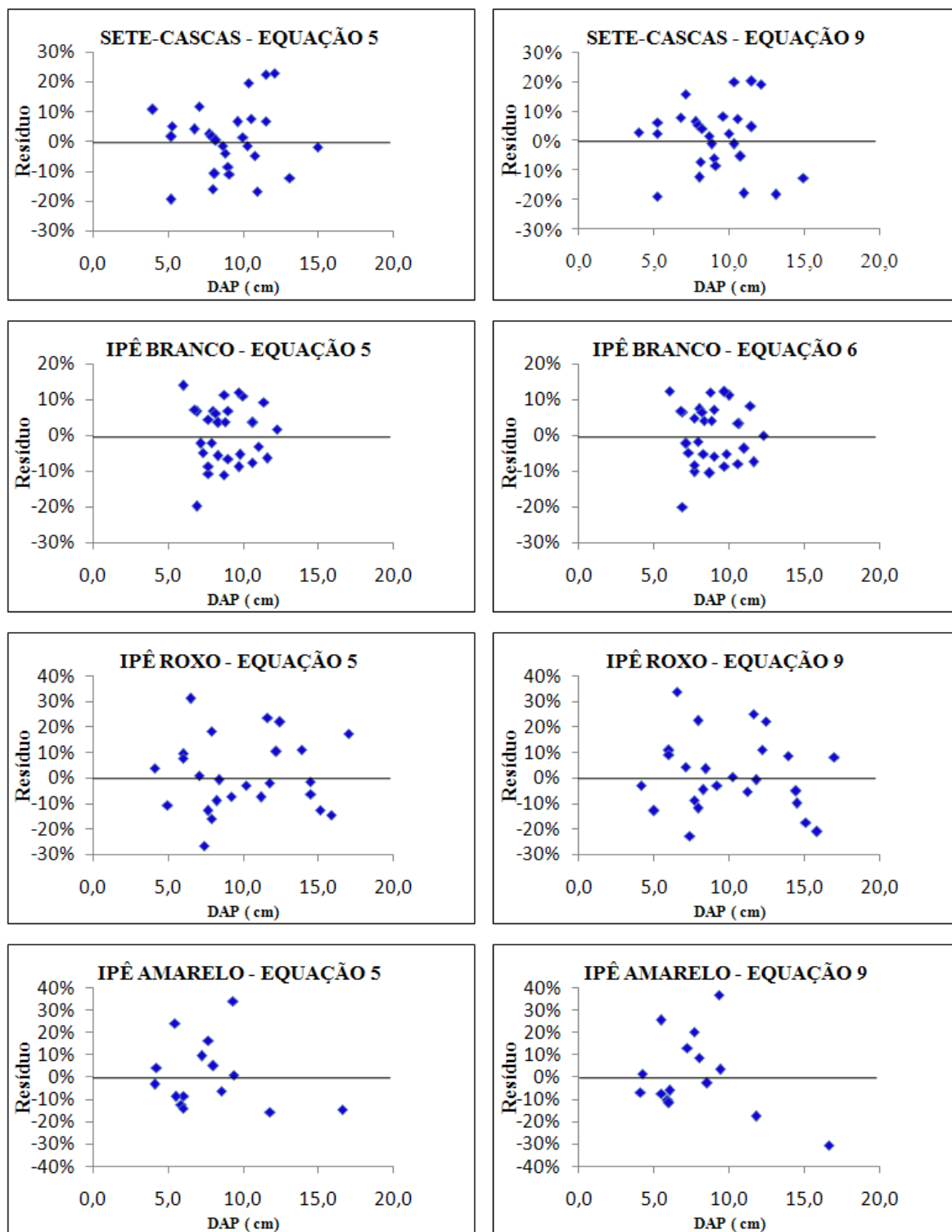


FIGURA 1. Distribuição dos resíduos da altura observada e da altura estimada, em função do diâmetro à altura do peito, para as equações selecionadas para as quatro espécies.

O ipê branco e a sete-cascas foram as espécies com menores valores residuais para as equações selecionadas, apresentando amplitude entre -20 e 14% e entre -20 e 23%, respectivamente. Esses resultados são corroborados por

RUFINO et al. (2010), que verificaram erro-padrão das equações ajustadas compreendido entre -20 e 30%.

Já o ipê amarelo apresentou os maiores valores de resíduo, sendo estes de -15 e 34% para o modelo 5 e -31 e 37% para o modelo 9. É possível que essa maior variação esteja associada ao menor número de indivíduos mensurados desta espécie, sendo pertinente a realização de novos ajustes utilizando povoamentos com maior número de indivíduos.

Ao analisar a tendenciosidade das equações ajustadas, para a sete-cascas observou-se que o modelo 5 apresentou uma leve tendência a superestimar os valores de altura total com o aumento do DAP, portanto, para esta espécie o modelo 9 (proposto) é o mais indicado para descrever a relação entre altura e diâmetro. Já para o ipê roxo esse modelo apresentou leve tendência em subestimar os valores dessa variável, mesmo apresentando valores de R^2_{aj} e $S_{y,x}(\%)$ mais desejáveis, o que sugere que o modelo de Curtis é o mais apropriado para a espécie.

No caso do ipê branco, as duas equações mais satisfatórias não apresentaram tendências, mas, como a equação ajustada a partir do modelo proposto por Stofel apresentou erro-padrão ligeiramente menor, pode-se inferir que esta é a mais indicada para se estimar a altura total desta espécie. Para o ipê amarelo, ambas as equações mais satisfatórias apresentaram tendência de subestimar os valores da variável altura total, no entanto, o modelo 9 parece mais adequado para a espécie, por apresentar menor valor de $S_{y,x}(\%)$, mesmo com tendência um pouco mais acentuada que o modelo 5.

Vale ressaltar que, como os dados utilizados neste trabalho foram obtidos de plantio misto, havendo, portanto, a possibilidade de interação entre espécies, a realização de estudos semelhantes com as mesmas espécies em plantios homogêneos e/ou em condições naturais mistas poderão fornecer informações mais detalhadas sobre o comportamento da relação hipsométrica dessas espécies.

CONCLUSÕES

De acordo os resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- Dentre os modelos hipsométricos testados, o modelo proposto $Ln(DAP)/\sqrt{(H)}$ $= \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$ foi o mais indicado para as espécies sete-cascas e ipê amarelo.

- Para as espécies ipê branco e ipê roxo os modelos mais indicados foram os propostos por Stofel e Curtis, respectivamente.

- Para a espécie ipê branco, o modelo mais adequado foi o modelo proposto por Stofel, todavia o modelo de Curtis também proporcionou estimativas semelhantes ao anterior e sem tendências, podendo ser este também indicado para a espécie.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, C. P.; MUROYA, K.; GARCIA, L. C.; LIMA, R. M. B.; MOURA, J. B.; NEVES, E. J. M. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 5-29, 1999.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; OLIVEIRA, E. B. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, vol. 32, n. 2, p. 189-204, 2002.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de florestas. **Revista do IPEF**, v.1, p.33-44, 1986.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SCHEEREN, L. W.; BARRICHELO, L. R.; WATZLAWICK, L. F. Relação hipsométrica para *Acacia mearnsii* com diferentes idades. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 45, jul./dez. 2002, p. 57-58.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 407 p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Pesquisas Florestais, 1992. 269p.

LOETSCH, F.; ZOEHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munchen: BVL, 1973. v.2. 469p.

MACHADO, S. A., NASCIMENTO, R. G. M., AUGUSTYNCZIK A. L. D., SILVA, L. C. R., FIGURA, M. A., PEREIRA, E. M., TÉO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.5-16, jan./jun. 2008

MACHADO, S. A.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JUNIOR, V. G. Teste de modelos matemáticos para o ajuste da relação hipsométrica em diferentes sítios e idades para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. v.2, p.553-556.

NOVAES, A. B. de; LONGUINHOS, M. A. A.; RODRIGUES, J.; SANTOS, I. F. dos; GUSMÃO, J. C. Caracterização e demanda florestal da Região Sudoeste da Bahia. In: SANTOS, A. F. dos; NOVAES, A. B. de; SANTOS, I. F. dos; LONGUINHOS, M. A. A. (Org.). Memórias do II Simpósio sobre Reflorestamento na Região Sudoeste da Bahia. 1ª ed. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2008, v. 1, p. 25-43.

ROCHA, T. B., CABACINHA, C. D., ALMEIDA, R. C; PAULA, A.; SANTOS, R. C. Avaliação de métodos de estimativa de volume para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Planalto da Conquista- BA. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.10, 2010.

RUFINO, R. F., MIGUEL, E. P., SANTOS, G. A., SANTOS, T. E. B., SOUZA, F. Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucalipto conduzido sobre o sistema de rebrota. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.10, 2010.

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração florestal 3: relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica.** Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 292 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas.** LAVRAS: UFLA/FAEPE, 1998. v. 1. 443 p.

SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; RODRIGUES, F. L.; PETERNELLI, L. A.; **Análise da influência de diferentes tamanhos e composições de amostras no ajuste de uma relação hipsométrica para *Eucalyptus grandis*.** Sociedade de investigações florestais, Revista Árvore, Viçosa-MG, v.31, n.4, p. 685-694, 2007.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal.** Viçosa, MG. Ed. UFV, 2006, 276p.