

Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil

Emanuel José Gomes de Araújo¹, Allan Libanio Pelissari¹, Hassan Camil David¹, José Roberto Soares Scolforo², Sylvio Péllico Netto¹, Vinícius Augusto Morais²

¹Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Florestais, Av. Pref. Lothário Meissner, 632, CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil

²Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Campus Universitário, CEP 37200-000, Lavras, MG, Brasil

*Autor correspondente:
ejgaraujo@gmail.com

Termos para indexação:

Modelos hipsométricos
Relação altura/diâmetro
Identidade de modelos

Index terms:

Hypsometric models
Height/diameter relation
Identity of models

Histórico do artigo:

Recebido em 06/06/2012
Aprovado em 20/08/2012
Publicado em 28/09/2012

doi: 10.4336/2012.pfb.32.71.257

Resumo - O objetivo deste estudo foi ajustar modelos tradicionais de relação hipsométrica para plantios homogêneos da espécie candeia, sob diferentes espaçamentos. Foram ajustados dez modelos de relação hipsométrica e o critério de avaliação obedeceu ao maior coeficiente de determinação ajustado e ao menor erro padrão da estimativa em porcentagem. Também foram avaliados o teste F, a significância dos coeficientes de regressão, a análise gráfica dos resíduos e o teste de identidade nos casos em que um mesmo modelo foi selecionado para diferentes tratamentos. Foi observado que, ao longo do tempo, a curva hipsométrica reduz a sua inclinação, desloca-se para a direita e sobe de patamar, com redução do intervalo entre elas a partir do sexto ano de avaliação. Os modelos tradicionais de relação hipsométrica de Henricksen, Stofells, Assman, Trorey e Curtis são os mais eficientes para estimar a altura total da espécie candeia, em plantios homogêneos e com diferentes espaçamentos iniciais, no estado de Minas Gerais.

Hypsometric relation for candeia (*Eremanthus erythropappus*) under different planting spacings in Minas Gerais, Brazil

Abstract - The objective of this work was to adjust traditional models of hypsometric relations for homogeneous candeia stands, under different initial spacings. Ten models were adjusted for hypsometric relations. The assessment criteria obeyed the highest determination coefficient and the lowest standard error of estimate in percentage. The F test was also evaluated, as well as the significance of the regression coefficients, the graphical analysis of the residues and the identity test when the same model was selected for different treatments. It was observed that, over time, the hypsometric curves reduce their tilt, move to the right and elevate, reducing the interval among them from the sixth year. The traditional hypsometric relation models as Henricksen, Stofells, Assman, Trorey and Curtis are efficient to estimate the total height of candeia in homogeneous stands and under different initial spacing in Minas Gerais State, Brazil.

Introdução

A candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) é uma espécie arbórea com grande valor comercial no estado de Minas Gerais (Perez et al., 2004; Camolesi et al., 2010). Sua importância econômica concentra-se na produção de mourões de cerca, devido à alta durabilidade da madeira, e na extração de óleo, cujo principal componente é o alfabisabolol, o qual possui propriedades antiflogísticas, antibacterianas, antimicóticas, dermatológicas e espasmódicas (Bezerra et al., 2009; Vila et al., 2010; Kim et al., 2011).

O estabelecimento de plantios comerciais com candeia é crescente, juntamente com a demanda pelo alfabisabolol por parte da indústria de óleos essenciais. Além disso, favorece a redução da pressão sobre as áreas nativas, o que minimiza os impactos ao meio ambiente.

Para que as áreas plantadas sejam implantadas com sucesso, é imprescindível a realização de inventários florestais contínuos. Nesses, a determinação das alturas das árvores é uma operação onerosa e sujeita aos erros de medição, sendo comum medir-se a altura de algumas árvores em parcelas de amostragem e estimar a altura das demais por meio da relação hipsométrica, a qual é comumente definida como uma relação matemática entre a altura da árvore e o seu diâmetro a 1,3 m do solo (Imaña-Encinas et al., 2002; Scolforo, 2005; Hosokawa, et al., 2008).

A relação hipsométrica sofre influência de diversos fatores, como o sítio, a idade, o tamanho da copa, a espécie e a posição sociológica. Entretanto, a densidade promove significativa influência, a qual é dependente do estrato florestal e da concorrência das árvores pelos fatores de crescimento, como luz, água e nutrientes do solo. Assim, nas árvores dominantes a altura é pouco afetada pelo espaçamento, já nas dominadas a influência no desenvolvimento da altura é bastante acentuada (Prodan et al., 1997; Scolforo, 2005).

No entanto, Bartoszeck et al. (2002) ressaltam que os modelos hipsométricos que consideram esses fatores são de difícil aplicação, o que justifica o uso de equações tradicionais disponíveis na literatura florestal, como o modelo de Stoffels & Soest (1953) aplicado por Machado et al. (2008), para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, no estado do Paraná e o modelo de Curtis (1967), ajustado por Ribeiro et al. (2010), para plantios de *Eucalyptus* sp. na região sul do estado da Bahia.

Desta forma, considerando a ausência de estudos sobre a modelagem do crescimento em altura da candeia, o objetivo deste estudo foi ajustar e avaliar modelos tradicionais de relação hipsométrica para a espécie, em plantios homogêneos e com diferentes espaçamentos iniciais, no estado de Minas Gerais.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo e coleta de dados

A área de estudo está localizada no município de Carrancas, Minas Gerais (21°33'04" S e 44°42'39" W). O clima da região é do tipo Cwa de Köpen, cujo índice de chuvas anual chega a superar 1.600 mm e temperatura média anual de 19,2 °C (Carvalho et al., 2008). A altitude média local é de 965,3 m.

Os dados foram coletados em plantios homogêneos de candeia nos espaçamentos 1,5 m x 1,5 m (Tratamento 1), 1,5 m x 2,0 m (Tratamento 2), 1,5 m x 2,5 m (Tratamento 3) e 1,5 m x 3,0 m (Tratamento 4), com avaliação aos 4, 6 e 8 anos de idade, em que, foram mensurados o diâmetro, com casca, a 1,3 m do solo (d) e a altura total (h) dos indivíduos que apresentaram diâmetro mínimo de 3,0 cm aos 4 anos de idade.

Ajuste e seleção de modelos de relação hipsométrica

Foram ajustados dez modelos de relação hipsométrica (Tabela 1) e o critério de avaliação obedeceu, inicialmente, ao maior coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e ao menor erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx} \%$).

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

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n-p}} \therefore S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{h}} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que: $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa absoluto; $S_{yx} \%$ = erro padrão da estimativa em porcentagem; h_i = altura observada (m); \hat{h}_i = altura estimada (m); \bar{h} = média aritmética das alturas observadas (m); n = número de dados observados; p = número de coeficientes do modelo; SQ_{res} = soma dos quadrados dos resíduos e SQ_t = soma total dos quadrados.

Tabela 1. Modelos de relação hipsométrica ajustados para a espécie candeia em Minas Gerais.

Nº	Modelo	Denominação
1	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d$	Linear simples
2	$h = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	Trorey
3	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$	Assmann
4	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d$	Henricksen
5	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d$	Stoffels
6	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$	Curtis
7	$\frac{1}{h - 1,30} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$	Petterson
8	$\frac{d^2}{h} = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2$	Prodan
9	$h - 1,3 = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 \cdot d^2}$	Naslund
10	$h - 1,3 = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2}$	Prodan

ln = logaritmo neperiano; *h* = altura total (m); *d* = diâmetro, com casca, a 1,3 m do solo (cm); e β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes de regressão.

Nos modelos logarítmicos de Stoffels (5) e Curtis (6), a discrepância logarítmica na estimativa da variável dependente, ao se efetuar a operação inversa para obtenção da variável de interesse, foi corrigida multiplicando-se a altura estimada pelo Fator de Correção de Meyer (FM), conforme metodologia aplicada por Machado et al. (2008):

$$FM = e^{0,5(S_{yx}^2)} \quad (3)$$

Em que: *FM* = fator de correção de Meyer; *e* = exponencial; e S_{yx} = erro padrão de estimativa.

Também foram avaliados o teste *F*, a significância dos coeficientes de regressão (β_0 , β_1 e β_2) pelo teste *t* e a análise gráfica dos resíduos, com os valores estimados representados graficamente em função do diâmetro a 1,3 m do solo.

Teste de identidade entre modelos

Nos casos em que um mesmo modelo foi selecionado para diferentes tratamentos, considerando a mesma idade de avaliação, foi aplicado o teste de identidade de Graybill (2000), o qual permitiu verificar a possibilidade de uma única equação representar a relação hipsométrica para os tratamentos agrupados. Este teste baseia-se na comparação entre a soma de quadrado dos resíduos em cada tratamento (modelo completo) e a soma de quadrado da diferença para o modelo ajustado com uma única base de dados contendo todos os tratamentos (modelo reduzido). Assim, quando o valor da estatística *F* for maior ou igual ao seu valor tabelar, indica significância ao nível de 5% de probabilidade e rejeita-se a hipótese H_0 , ou seja, não é possível utilizar uma única equação para estimar a relação hipsométrica em diferentes tratamentos.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da análise estatística descritiva da estrutura diamétrica dos plantios de candeia nos diferentes espaçamentos e idades avaliadas.

Foi constatada a elevação dos diâmetros mínimos, máximos e médios nos plantios de candeia em função da idade (Tabela 2), em que, de modo geral, os valores menores foram observados nos plantios de densidade maior (Tratamentos 1 e 2) e os maiores nos povoamentos menos adensados (Tratamentos 3 e 4). Além disso, foi verificado o aumento da variabilidade da estrutura diamétrica entre as idades, expressa pelo desvio padrão e pelo coeficiente de variação, os quais demonstram os efeitos do avanço da competição intraespecífica na seleção da dominância dos indivíduos.

Os resultados provenientes dos ajustes dos 10 modelos de relação hipsométrica, para os quatro espaçamentos, nas diferentes idades, estão apresentados nas Tabelas 3, 4, 5 e 6.

Tabela 2. Análise estatística descritiva do diâmetro a 1,3 m do solo para a espécie candeia nos diferentes espaçamentos e idades dos plantios em Minas Gerais.

	Tratamento (espaçamento)	Idade (ano)	Mínimo (cm)	Máximo (cm)	Média (cm)	Desvio Padrão (cm)	Coefficiente de Variação (%)
1	(1,5 m x 1,5 m)	4	3,18	8,05	5,13	1,00	19,47
		6	3,25	13,11	6,04	1,45	23,95
		8	3,37	14,48	6,37	1,60	25,14
2	(1,5 m x 2,0 m)	4	3,18	8,59	5,24	1,09	20,88
		6	3,47	10,19	6,23	1,41	22,69
		8	3,53	10,47	6,57	1,52	23,08
3	(1,5 m x 2,5 m)	4	3,06	8,72	5,59	1,34	24,04
		6	3,82	10,66	6,58	1,67	25,30
		8	4,04	11,40	7,05	1,76	25,01
4	(1,5 m x 3,0 m)	4	3,02	8,59	5,68	1,25	22,09
		6	3,31	10,31	6,83	1,56	22,77
		8	3,34	11,27	7,19	1,67	23,22

De maneira geral, foi observado que os modelos testados para os diferentes espaçamentos nas diferentes idades apresentaram ajuste significativo, conforme o valor da estatística F , com 5% de significância. Os valores do coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) variaram de 0,282 para o modelo 10 no tratamento 3 aos 8 anos (Tabela 5), até 0,494 para o modelo 5 no tratamento 2 (Tabela 4) aos 4 anos. Isso demonstra a não existência de uma relação dendrométrica muito forte entre a altura total e o diâmetro das árvores, corroborando resultados já encontrados com diversas espécies florestais em condições de plantio (Cardoso et al., 1989; Machado et al., 1994; Barros et al., 2002; Caldeira et al., 2003; Bartoszeck et al., 2004; Figueiredo Filho et al., 2010).

No entanto, não se recomenda utilizar unicamente o coeficiente de determinação para avaliar o ajuste de um modelo. Assim, foi verificado, em todas as situações, que o erro padrão da estimativa (S_{yx} %) apresentou valores abaixo de 10%. Estes variaram de 7,471% para o modelo 5 no tratamento 2 (Tabela 4) aos 4 anos, até 9,597% para o modelo 10 no tratamento 3 (Tabela 5) aos 8 anos. Resultados semelhantes foram observados por Zanon et al. (1996), em plantios de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Rio Grande do Sul; Bartoszeck et

al. (2004), em bracatingais da região metropolitana de Curitiba, PR; Donadoni et al. (2010), para *Pinus* tropicais em Rondônia; e por Andrade & Leite (2011) em povoamentos de eucalipto.

Foi observado que os modelos testados apresentaram uma tendência, de acréscimo ou decréscimo, nos valores do coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e do erro padrão da estimativa (S_{yx} %) em função da idade. Nos espaçamentos extremos, tratamento 1 espaçamento 1,5 m x 1,5 m e tratamento 4 espaçamento 1,5 m x 3,0 m, os ajustes melhoraram no sentido do aumento da idade do povoamento (Tabelas 3 e 6). Entretanto, nos espaçamentos intermediários, tratamento 2 espaçamento 1,5 m x 2,0 m e tratamento 3 espaçamento 1,5 m x 2,5 m, houve redução da precisão dos ajustes em função da idade (Tabelas 4 e 5). O que indica a influência da densidade do povoamento na relação altura-diâmetro da candeia.

Considerando a avaliação entre os tratamentos em uma mesma idade, não foram observados indicativos de melhoria dos ajustes em relação aos espaçamentos. Somente o espaçamento 1,5 m x 2,0 m apresentou ajustes melhores em relação aos demais espaçamentos aos 4 e 6 anos de idade (Tabela 4).

Tabela 3. Parâmetros estatísticos dos modelos de relação hipsométrica ajustados para o Tratamento 1, espaçamento 1,5 m x 1,5 m, para a espécie candeia em Minas Gerais.

Nº	β_0	β_1	β_2	$S_{yx}\%$	$R^2_{aj.}$	F
4 anos						
1	2,55614*	0,24164*		9,454	0,311	104,33*
2	1,86012*	0,51556*	-0,02596 ^{ns}	9,434	0,314	53,37*
3	5,00335*	-5,95971*		9,438	0,313	105,47*
4	1,79696*	1,23695*		9,414	0,317	107,14*
5	0,79569*	0,32908*		9,420	0,316	109,57*
6	1,65022*	-1,59294*		9,423	0,315	109,35*
7	0,20139*	1,04660*		9,516	0,302	94,30*
8	-0,10475*	0,47885*	0,17435*	9,476	0,308	1.206,65*
9	2,66202*	0,30055*		9,543	0,298	740,10*
10	0,50771 ^{ns}	0,83561 ^{ns}	0,22250*	9,537	0,299	369,97*
6 anos						
1	3,06018*	0,25883*		8,887	0,451	189,48*
2	2,58315*	0,40846*	-0,01107 ^{ns}	8,858	0,455	96,63*
3	6,18315*	-8,92734*		9,051	0,431	174,48*
4	1,75980*	1,61667*		8,857	0,455	192,36*
5	0,90604*	0,34886*		8,838	0,458	190,42*
6	1,86435*	-1,94812*		8,969	0,441	179,79*
7	0,15718*	0,87225*		8,937	0,445	175,61*
8	-1,19301*	0,86859*	0,10598*	8,899	0,450	2.194,61*
9	3,15254*	0,21151*		9,254	0,405	1.759,44*
10	-1,43904*	1,39299*	0,11239*	8,927	0,447	946,76*
8 anos						
1	3,42617*	0,22541*		7,906	0,467	201,34*
2	2,96900*	0,35850*	-0,00906 ^{ns}	7,870	0,471	103,11*
3	6,36629*	-9,05531*		8,038	0,449	187,38*
4	2,08655*	1,52267*		7,863	0,472	206,01*
5	1,01487*	0,30775*		7,850	0,474	211,71*
6	1,88286*	-1,84829*		7,973	0,458	199,51*
7	0,16653*	0,72272*		7,940	0,462	213,79*
8	-1,40338*	0,85462*	0,10673*	7,916	0,465	3.158,83*
9	2,94165*	0,20442*		8,310	0,411	2.781,67*
10	-1,94722*	1,37453*	0,11473*	7,923	0,464	1.554,21*

^{ns} = não significativo; e * = significância a 5%.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos dos modelos de relação hipsométrica ajustados para o Tratamento 2, espaçamento 1,5 m x 2,0 m, para a espécie candeia em Minas Gerais.

Nº	β_0	β_1	β_2	$S_{yx}\%$	$R^2_{aj.}$	F
4 anos						
1	2,38720*	0,24962*		7,509	0,489	107,09*
2	1,78750*	0,48555*	-0,02223 ^{ns}	7,485	0,492	54,75*
3	4,89563*	-6,00893*		7,587	0,478	102,63*
4	1,61974*	1,27019*		7,478	0,493	108,92*
5	0,73190*	0,34859*		7,471	0,494	109,19*
6	1,63212*	-1,65500*		7,534	0,485	104,32*
7	0,19901*	1,15239*		7,529	0,486	97,59*
8	0,14237*	0,43226*	0,18156*	7,563	0,481	1.037,87*
9	3,06322*	0,30239*		7,616	0,474	671,77*
10	1,00104 ^{ns}	0,79648 ^{ns}	0,22867*	7,573	0,480	335,36*
6 anos						
1	3,31704*	0,20970*		8,150	0,377	68,13*
2	1,33805*	0,86247*	-0,05120*	7,785	0,431	44,71*
3	5,93218*	-7,72923*		7,722	0,441	85,19*
4	2,22785*	1,32847*		7,909	0,413	79,15*
5	0,99182*	0,29608*		7,972	0,404	82,47*
6	1,81846*	-1,72887*		7,805	0,428	90,06*
7	0,17356*	0,79118*		7,931	0,410	96,16*
8	2,64919*	-0,55316*	0,23221*	7,872	0,419	1.181,18*
9	1,86322*	0,24976*		7,838	0,424	1.092,76*
10	5,58597*	-1,20495 ^{ns}	0,34256*	7,850	0,422	556,84*
8 anos						
1	3,43723*	0,19945*		9,225	0,317	52,54*
2	1,60730*	0,77796*	-0,04339*	8,924	0,361	32,53*
3	6,03104*	-7,96935*		8,915	0,362	63,68*
4	2,30475*	1,31682*		9,025	0,346	59,83*
5	1,02352*	0,28448*		9,074	0,339	59,81*
6	1,82899*	-1,72457*		8,939	0,359	64,00*
7	0,17846*	0,73951*		9,071	0,340	60,12*
8	1,65345*	-0,19207*	0,19889*	8,988	0,352	878,20*
9	2,03114*	0,24131*		8,990	0,351	780,43*
10	3,14897*	-0,34657*	0,26682*	9,016	0,348	387,32*

^{ns} = não significativo; e * = significância a 5%.

Tabela 5. Parâmetros estatísticos dos modelos de relação hipsométrica ajustados para o Tratamento 3, espaçamento 1,5 m x 2,5 m, para a espécie candeia em Minas Gerais.

Nº	β_0	β_1	β_2	S_{yx} %	$R^2_{aj.}$	F
4 anos						
1	2,55696*	0,21028*		9,379	0,390	74,41*
2	1,06640*	0,76323*	-0,04846*	9,059	0,431	44,48*
3	4,88816*	-6,08268*		9,090	0,427	86,57*
4	1,73964*	1,17811*		9,171	0,416	83,08*
5	0,75481*	0,32803*		9,231	0,409	87,92*
6	1,63244*	-1,69868*		9,100	0,425	92,70*
7	0,19479*	1,22011*		9,279	0,403	98,51*
8	2,41066*	-0,46555*	0,26819*	9,243	0,407	1.188,54*
9	2,83099*	0,31670*		9,163	0,417	819,36*
10	6,31595*	-1,27039 ^{ns}	0,42621*	9,235	0,408	412,81*
6 anos						
1	3,46059*	0,16958*		9,540	0,293	48,61*
2	2,55794*	0,44853*	-0,02025 ^{ns}	9,496	0,299	25,56*
3	5,70124*	-6,93786*		9,468	0,303	51,08*
4	2,48552*	1,12905*		9,467	0,304	51,12*
5	1,04766*	0,25205*		9,480	0,302	52,91*
6	1,76670*	-1,55595*		9,461	0,304	53,59*
7	0,19628*	0,72192*		9,544	0,292	54,59*
8	0,55608 ^{ns}	0,17571 ^{ns}	0,17743 ^{ns}	9,556	0,290	1.159,31*
9	2,25353*	0,25068*		9,575	0,288	1.081,44*
10	1,62861 ^{ns}	0,19010 ^{ns}	0,23709*	9,597	0,284	536,24*
8 anos						
1	3,72275*	0,16356*		9,263	0,290	47,94*
2	2,89857*	0,39939*	-0,01587 ^{ns}	9,237	0,294	24,93*
3	6,05535*	-7,80651*		9,170	0,304	51,25*
4	2,61704*	1,17549*		9,187	0,302	50,65*
5	1,10582*	0,24580*		9,201	0,299	50,91*
6	1,82584*	-1,63942*		9,170	0,304	52,16*
7	0,18535*	0,66877*		9,254	0,291	51,64*
8	-0,76117 ^{ns}	0,56930 ^{ns}	0,13999*	9,281	0,287	1.192,81*
9	2,37653*	0,22973*		9,302	0,284	1.131,27*
10	-0,97020 ^{ns}	0,94198 ^{ns}	0,16738*	9,312	0,282	568,21*

^{ns} = não significativo; e * = significância a 5%.

Tabela 6. Parâmetros estatísticos dos modelos de relação hipsométrica ajustados para o Tratamento 4, espaçamento 1,5 m x 3,0 m, para a espécie candeia em Minas Gerais.

Nº	β_0	β_1	β_2	$S_{yx}\%$	$R^2_{aj.}$	F
4 anos						
1	2,63524*	0,19560*		9,074	0,343	98,05*
2	1,97293*	0,44363*	-0,02206 ^{ns}	9,037	0,348	50,67*
3	4,72655*	-5,27152*		9,072	0,343	98,16*
4	1,93654*	1,05792*		9,023	0,350	101,22*
5	0,81459*	0,29872*		9,118	0,336	46,92*
6	1,58691*	-1,46574*		9,045	0,347	102,26*
7	0,22665*	1,05200*		9,118	0,336	103,86*
8	0,19110 ^{ns}	0,35025 ^{ns}	0,19841*	9,103	0,339	1.379,22*
9	2,78787*	0,32087*		9,174	0,328	929,39*
10	1,35701 ^{ns}	0,52669 ^{ns}	0,27475*	9,156	0,331	463,09*
6 anos						
1	3,03259*	0,23545*		8,172	0,484	175,22*
2	2,49146*	0,40411*	-0,01245 ^{ns}	8,158	0,485	88,73*
3	6,01522*	-8,85157*		8,293	0,468	164,78*
4	1,77520*	1,51357*		8,147	0,487	177,43*
5	0,89324*	0,33547*		8,137	0,488	188,94*
6	1,83495*	-1,97438*		8,225	0,477	179,49*
7	0,16696*	0,90319*		8,206	0,479	199,44*
8	-0,99116 ^{ns}	0,80008*	0,11963*	8,185	0,482	1.854,63*
9	3,18548*	0,22723*		8,389	0,456	1.602,70*
10	-1,27775 ^{ns}	1,36372*	0,12839*	8,209	0,479	824,27*
8 anos						
1	3,45689*	0,19912*		8,146	0,412	131,16*
2	2,96334*	0,34471*	-0,01015 ^{ns}	8,135	0,413	66,51*
3	6,09586*	-8,16271*		8,253	0,396	123,00*
4	2,27346*	1,34562*		8,125	0,415	132,77*
5	1,02796*	0,28467*		8,117	0,416	141,32*
6	1,83866*	-1,74071*		8,202	0,404	134,28*
7	0,17612*	0,73512*		8,189	0,405	149,66*
8	-0,63957 ^{ns}	0,60647*	0,13231*	8,172	0,408	2.137,50*
9	2,75219*	0,22215*		8,427	0,370	2.036,24*
10	-0,67326 ^{ns}	0,98749*	0,15473*	8,195	0,405	1.036,96*

^{ns} = não significativo; e * = significância a 5%.

A melhor equação dentre as 10 testadas, para cada espaçamento e nas diferentes idades, foi escolhida por meio da análise gráfica dos resíduos em associação com as estatísticas de precisão. A

Figura 1 apresenta os gráficos da distribuição de resíduos dos modelos selecionados, os quais são os recomendados em cada combinação de espaçamento por idade.

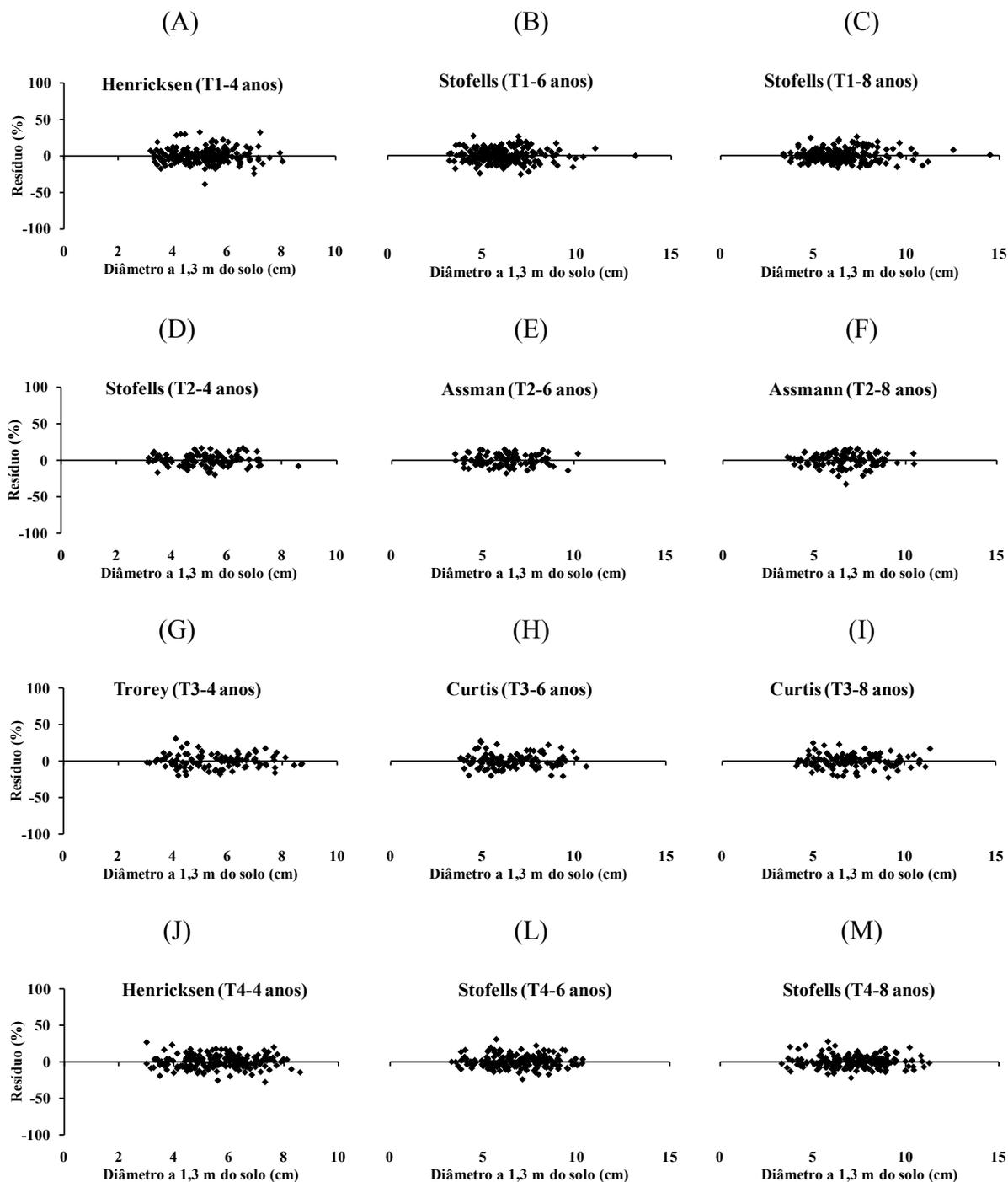


Figura 1. Distribuição dos resíduos dos modelos de relação hipsométrica, em diferentes idades e espaçamentos (A a M), selecionados para a espécie candeia em Minas Gerais.

Foi observado que a distribuição gráfica dos resíduos mostrou-se semelhante para as 12 equações selecionadas, com resíduos variando em até $\pm 40\%$. Com destaque ao modelo de Stoffels, uma vez que, em 5 das 12 equações, se apresentou como o melhor. Resultado semelhante foi observado por Machado et al. (2008) e por Koehler et al. (2010) para *Araucaria angustifolia* no estado do Paraná.

Nos tratamentos 1 e 4, equivalente aos espaçamentos 1,5 m x 1,5 m e 1,5 m x 3,0 m, os modelos selecionados foram os mesmos para cada idade. Aos 4 anos o modelo que propiciou melhores estimativas da variável altura foi o de Henricksen (Figuras 1A e 1J), passando para o modelo de Stoffels aos 6 anos (Figuras 1B e 1L) e mantendo-se este aos 8 anos de idade (Figuras 1C e 1M).

Para os tratamentos 2 e 3, correspondentes aos espaçamentos 1,5 m x 2,0 m e 1,5 m x 2,5 m, os modelos

selecionados aos 4 anos de idade foram os de Stoffels e Trorey (Figuras 1D e 1G), respectivamente, e aos 6 anos de idade, os melhores modelos passaram a ser os de Assman e Curtis (Figuras 1E e 1H), mantendo-se os mesmos aos 8 anos (Figuras 1F e 1I).

Considerando um mesmo espaçamento, foi observado que, à medida que o crescimento em altura se estabilizou, um mesmo modelo matemático foi selecionado para estimar a altura em função do diâmetro. Isso pode ser explicado pelo fato da curva de relação hipsométrica ser dinâmica, variando sua inclinação e posição à medida que se aumenta a idade do povoamento, até alcançar um ponto de estabilidade (Bartoszeck et al., 2004; Figueiredo Filho et al., 2010).

A Figura 2 apresenta as curvas de relação hipsométrica, para cada tratamento e nas diferentes idades, confeccionadas por meio das equações selecionadas.

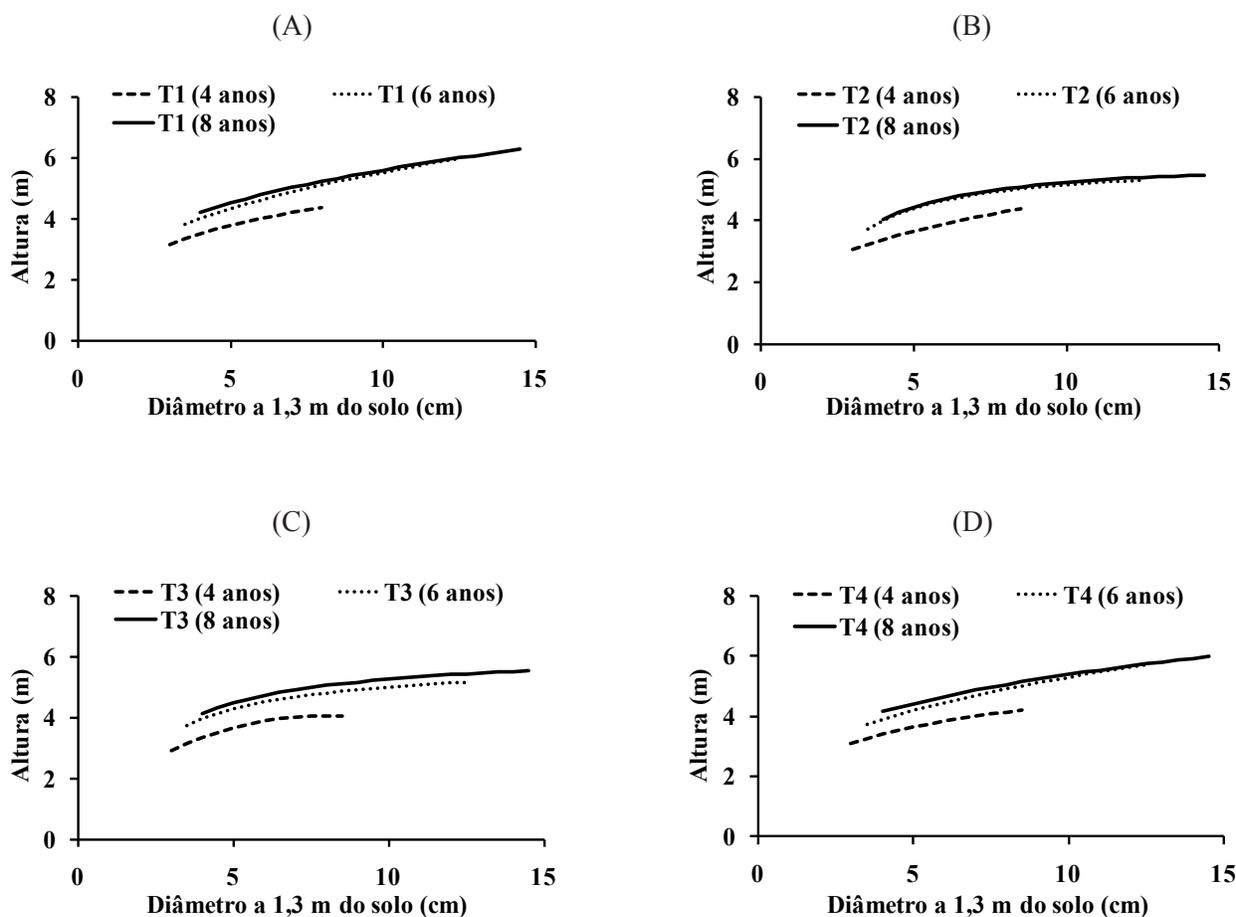


Figura 2. Curvas hipsométricas para a espécie candeia, com os diferentes espaçamentos, em Minas Gerais, sendo A = 1,5 m x 1,5 m, B = 1,5 m x 2 m, C = 1,5 m x 2,5 m e D = 1,5 m x 3 m.

Foi observado que, ao longo do tempo, a curva hipsométrica reduz a sua inclinação, desloca-se para a direita e sobe de patamar, com redução do intervalo entre elas a partir do sexto ano de avaliação. Isso indica, de acordo com Donadoni et al. (2010), o decréscimo do incremento em altura total, além dos efeitos da competição intraespecífica sobre o desenvolvimento dos indivíduos. Fato evidenciado em maior peso nos menores espaçamentos, correspondentes aos tratamentos 1 e 2 (Figuras 2A e 2B), o que inviabiliza o uso de uma

equação comum para povoamentos de diferentes idades (Azevedo et al., 1999).

Como um mesmo modelo foi selecionado para mais de um espaçamento em uma mesma idade, surge a necessidade de avaliar a possibilidade da utilização de uma mesma equação, proveniente deste modelo, para estimar as alturas nos diferentes espaçamentos. Para verificar tal possibilidade, foi aplicado o teste de identidade de modelos, cujos resultados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Teste de identidade de modelos para as equações de relação hipsométricas ajustadas para a espécie candeia em Minas Gerais.

Combinação	Modelo	QM (diferença)	QM (resíduo)	F _{calculado}	Teste
T1 e T4 (4 anos)	Henricksen	1,1630	0,2213	5,256	S
T1 e T4 (6 anos)	Stofells	0,0675	0,0132	5,096	S
T1 e T4 (8 anos)	Stofells	0,0456	0,0112	4,068	S

QM = quadrado médio; NS = não significativo, aceita-se H_0 ; e S = significativo, rejeita-se H_0 .

O teste de identidade entre modelos apresentou-se significativo nas três idades, ao nível de 5% de significância, indicando que não é possível aplicar uma única equação ajustada para o conjunto de dados contemplando os diferentes espaçamentos.

Conclusão

Os modelos tradicionais de relação hipsométrica de Henricksen, Stofells, Assman, Trorey e Curtis são os mais eficientes para estimar a altura total da espécie candeia, em plantios homogêneos e com diferentes espaçamentos iniciais, no estado de Minas Gerais, não sendo recomendado o uso de um modelo único para condições diferentes de plantio. Assim, não é recomendado o uso de um único modelo hipsométrico para diferentes condições de plantio.

As curvas hipsométricas estimadas reduzem a inclinação com a idade, deslocam-se para a direita e sobem de patamar, com a redução do intervalo entre elas, principalmente para os povoamentos com espaçamentos menores.

Referências

- ANDRADE, V. C. L. de; LEITE, H. G. Hipsometric relationship modeling using data sampled in tree scaling and inventory plots. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 157-164, 2011.
- AZEVEDO, C. P.; MUROYA, K.; GARCIA, L. C.; LIMA, R. M. B.; MOURA, J. B.; NEVES, E. J. 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.
- BARROS, D. A.; MACHADO, S. A.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 45, p. 03-28, 2002.
- BARTOSZECK, A. C. de P. e S.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da Região metropolitana de Curitiba, PR. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 517-533, 2004.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba-PR. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 189-204, 2002.

- BEZERRA, S. B.; LEAL, L. K. A. M.; NOGUEIRA, N. A. P.; CAMPOS, A. R. Bisabolol-induced gastroprotection against acute gastric lesions: role of prostaglandins, nitric oxide and katp channels. **Journal of medicinal food**, v. 12, n. 6, p. 1403–1406, 2009.
- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SCHEEREN, L. W.; WATZLAWICK, L. F. Relação hipsométrica para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na Região Oeste do Estado do Paraná. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v. 1, n. 2, p. 79-88, 2003.
- CAMOLESI, J. F.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de; ACERBI JÚNIOR, F. W.; RUFINI, A. L.; MELLO, J. M. de. Ajuste, seleção e teste de identidade de modelo para volume e número de moirões da candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Cerne**, Lavras, MG, v. 16, n. 4, p. 431-441, 2010.
- CARDOSO, D. J.; MACHADO, S. A.; ROSOT, N. C.; EMERENCIANO, D. B. Avaliação da influência dos fatores idade e sítio na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e sudoeste do Estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 19, n. 19, p. 96-115, 1989.
- CARVALHO, L. G.; OLIVEIRA, M. S.; ALVEAS, M. C.; VIANELLO, R. L.; SEDIYAMA, G. C.; NETO, P. C.; DANTAS, A. A. A. Clima. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. **Zoneamento ecológico econômico de Minas Gerais**: componentes geofísico e biótico. Lavras, MG: UFLA, 2008. p. 89-101.
- CURTIS, R. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. **Forest Science**, Lawrence, v. 13, n. 4, p. 365-375, 1967.
- DONADONI, A. X.; PELISSARI, A. L.; DRESCHER, R.; ROSA, G. D. da. Relação hipsométrica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 40, n. 12, p. 2499-2504, 2010.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; KOHLER, S. V.; VERUSSA, A. A.; CHIQUETTO, A. L. Evolution of the hypsometric relationship in *Araucaria angustifolia* plantations in the mid-south region of Paraná State. **Cerne**, Lavras, MG, v. 16, n. 3, p. 347-357, 2010.
- GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury, 2000. 704 p.
- HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B. de; CUNHA, U. S. da. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: UFPR, 2008. 164 p.
- IMAÑA ENCINAS, J.; SILVA, G. F. da; TICCHETTI, I. **Variáveis dendrométricas**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2002. 102 p.
- KIM, S.; JUNG, E.; KIM, J.; PARK, Y.; LEE, J.; PARK, D. Inhibitory effects of a-bisabolol on LPS-induced inflammatory response in RAW264.7 macrophages. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, n. 49, p. 2580–2585, 2011.
- KOEHLER, A. B.; CORAIOLA, M.; PÉLLICO NETTO, S. Crescimento, tendências de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantios jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em Tijucas do Sul, PR. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 38, n. 85, p. 53-62, 2010.
- MACHADO, S. A.; BALLEY, R. L.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JÚNIOR, V. G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito a idade para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. **Cerne**, Lavras, MG, v. 1, n. 1, p. 05-12, 1994.
- MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÊO, 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, 2008.
- PÉREZ, J. F. M.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; BORGES, L. F. R.; CAMOLESI, J. F. Sistema de manejo para a candeia - *Eremanthus erythropappus* (dc.) macleish: a opção do sistema de corte seletivo. **Cerne**, Lavras, MG, v. 10, n. 2, p. 257-273, 2004.
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura forestal**. San José: IICA, 1997. 586 p.
- RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; MELLO, J. M. de; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, MG, v. 16, n. 1, p. 22-31, 2010.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: parte I: modelos de regressão linear e não linear; parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p.
- STOFFELS, A.; SOEST, J. van. The main problems in sample plots. **Ned Bosbouw tijdschr**, v. 25, p. 190-199, 1953.
- VILA, R.; SANTANA, A. I.; PÉREZ-ROSÉS, R.; VALDERRAMA, A.; CASTELLI, M. V.; MENDONÇA, S.; ZACCHINO, S.; GUPTA, M. P.; CAÑIGUERAL, S. Composition and biological activity of the essential oil from leaves of *Plinia cerrocampensis*, a new source of a-bisabolol. **Bioresource Technology**, Essex, n. 101, p. 2510–2514, 2010.
- ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; KLEIN, J. E. M.; COELHO, M. C. B. Funções para descrever a relação altura diâmetro de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 26, n. 1, p. 87-90, 1996.