



AJUSTE DE MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA POVOAMENTO DE *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don NO PARANÁ

Ana Beatriz Schikowski¹; Ana Paula Dalla Corte²; Carlos Roberto Sanquetta²; Aurélio Lourenço Rodrigues³; Karen Aline de Oliveira⁴

1. Mestranda em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná
(biaschik@hotmail.com)
2. Prof. Dr. no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná
3. Doutorando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná
4. Graduanda em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná
Centro BIOFIX de Pesquisa em Biomassa e Sequestro de Carbono
Universidade Federal do Paraná - UFPR
Av. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico
Curitiba – PR, 80.210-170 – Brasil

Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014

RESUMO

Cryptomeria japonica é uma espécie de origem asiática, com qualidade reconhecida no mercado internacional de madeira. Acredita-se ser uma espécie de grande potencial para plantio comercial no Brasil, especialmente no sul, mas para esse potencial ser evidenciado são necessários estudos sobre sua adaptabilidade e produção em território brasileiro. Sendo assim a presente pesquisa teve por objetivo o ajuste de equações hipsométricas para um plantio experimental de *C. japonica*. Dados são provenientes de um plantio experimental de 33 anos, localizado no município de Rio Negro, Paraná. Foram coletados: o diâmetro a altura do peito e altura total de 47 indivíduos, sendo que 37 foram utilizados no ajuste e 10 separados para validação. Foram testados 5 modelos de natureza logarítmica e aritmética. As estatísticas de ajuste foram similares nos modelos ajustados, sendo que o modelo de melhor desempenho foi o de Curtis, $\ln(h)=3,684-14,33*1/d$, sendo adequado o seu uso para estimar altura em função do diâmetro.

PALAVRAS-CHAVE: Altura, *Cryptomeria*, modelagem, regressão.

HYPSONOMETRIC MODELS FIT OF JAPANESE CEDAR (*Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don) PLANTATION IN SOUTHERN BRAZIL

ABSTRACT

Cryptomeria japonica is an Asian species of acknowledged quality in the international wood trade. Believed to be a species of great potential for commercial cultivation in Brazil, particularly in the southern, but for this potential to be evidenced, studies of adaptability and production in Brazilian territory are required. Thus this research aims at fitting hypsonometric equations for experimental planting of *C. japonica*. Data come from an experimental planting of 33 years, located in the municipality of Rio Negro, Paraná. 47 individuals were collected, of which 37 were used to adjust and 10 separate to validation, and had their total height and diameter at breast height measured. Five models of arithmetic and logarithmic nature were tested. The fit

statistics were similar in adjusted models, and the model was the best performance was $\ln(h) = 3.684 - 14.33 \cdot 1/d$ and is suitable for use to estimate height by diameter.

KEYWORDS: sugi, height, fit models.

INTRODUÇÃO

Cryptomeria japonica (Thunb. ex L. f.) D. Don é uma conífera pertencente à Família Cupressaceae, possui notável destaque no Japão e tem sua qualidade reconhecida pelo comércio internacional, utilizada em diversos setores da indústria de madeira, tanto pelas propriedades mecânicas desejáveis, quanto pela beleza da coloração do seu cerne (ISHIGURI et al., 2003). A espécie ainda não é cultivada comercialmente no Brasil, porém é considerada de potencial para plantios florestais em regiões altas e frias no Brasil, destacando-se pela alta qualidade da madeira, rápido crescimento e boa adaptação ao clima do sul do país (SANTOS et al., 2000). DOBNER JUNIOR et al. (2013) afirmam em sua análise de um plantio de *C. japonica* plantada em Santa Catarina, que além do potencial de ser uma madeira de boa qualidade, a espécie possui desenvolvimento comparável ao *Pinus taeda*, principal espécie florestal cultivada comercialmente no sul do país.

A medição da altura é fundamental na quantificação do volume de árvores e no estudo do sítio, sendo usual a mensuração de algumas árvores para a partir dessas realizar a estimativa das alturas das demais por meio de uma equação hipsométrica (THIERSCH et al., 2013). Uma equação hipsométrica é uma representação matemática da relação entre altura e diâmetro à altura do peito, sendo essa relação altamente influenciada pela espécie, posição sociológica, idade, tamanho de copa, densidade, sítio e práticas silviculturais (MACHADO et al., 2008).

Como a altura é considerada uma variável mais complexa de ser medida do que o diâmetro, considera-se o uso das equações hipsométricas ainda mais vantajosos, pois conforme SANQUETTA et al. (2009) o emprego da regressão permite estimar variáveis de difícil obtenção em função de variáveis de fácil medição. Segundo CURTO et al. (2014), o uso de equações hipsométricas em florestas equiâneas obtém uma precisão satisfatória, sendo comumente aplicadas em inventários florestais.

Sendo assim, a presente pesquisa teve por objetivo o ajuste de modelos hipsométricos para *Cryptomeria japonica* plantada no Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado com base em dados oriundos de um plantio equiâneo de *Cryptomeria japonica*, com 33 anos, localizados na Fazenda Experimental pertencente à Universidade Federal do Paraná, no município de Rio Negro. A área de estudo situa-se aproximadamente nas coordenadas 26°03'43" de latitude sul e 49°45'31" de longitude oeste, com altitude média de 800 metros (BEUTLING et al., 2012).

Foi mensurada a circunferência à altura do peito (1,3 m) e a altura total de 47 indivíduos utilizando fita métrica e trena, todas as classes de diâmetro do povoamento foram amostradas.

Foram avaliados cinco modelos comumente utilizados para relações hipsométricas, conforme apresentado no Quadro 1, ajustados com pares de dados altura e diâmetro de 37 árvores, separando-se 10 indivíduos para validação do modelo de melhor desempenho.

QUADRO 1 – Modelos ajustados.

Autor	Modelo
Sttoffels	$\text{Ln}(h) = \beta_0 + \beta_1 * \text{Ln}(d) + \varepsilon_i$
Curtis	$\text{Ln}(h) = \beta_0 + \beta_1/d + \varepsilon_i$
Henriksen	$h = \beta_0 + \beta_1 * \text{Ln}(d) + \varepsilon_i$
Parábola	$h = \beta_0 + \beta_1 * d + \beta_2 * d^2 + \varepsilon_i$
Reta	$h = \beta_0 + \beta_1 * d + \varepsilon_i$

Em que: h – altura total (m); d – diâmetro à altura do peito (cm); ln – Logaritmo natural; β_n – coeficientes a serem ajustados; ε_i – erro inerente a estimativa.

Os modelos foram avaliados quanto ao desempenho nas estatísticas de precisão coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx\%}$), valor de F e análise gráfica dos resíduos. Para os modelos transformados matematicamente foi aplicado o Índice de Meyer a fim de corrigir a discrepância logarítmica.

$$R^2_{aj.} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) * \frac{SQ_{resíduos}}{SQ_{total}} \quad (1)$$

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{SQ_{resíduos}}{n-p}} \quad (2)$$

$$S_{yx\%} = \frac{S_{yx}}{Y_{real}} * 100 \quad (3)$$

$$F = \frac{SQ_{regressão} / GL_{regressão}}{SQ_{resíduos} / GL_{resíduos}} \quad (4)$$

$$e_{\%} = \left(\frac{Y_{estimado} - Y_{real}}{Y_{real}} \right) * 100 \quad (5)$$

$$FM = e^{0,5 * S_{yx}^2} \quad (6)$$

Em que:

$R^2_{aj.}$ = Coeficiente de determinação;

n = Número de observações;

p = Número de parâmetros;

$SQ_{resíduos}$ = Soma dos quadrados dos resíduos;

SQ_{total} = Soma dos quadrados total;

S_{yx} = Erro padrão da estimativa;

$S_{yx\%}$ = Erro padrão da estimativa porcentual;

\bar{Y}_{real} = Média das variáveis observadas;

F = Valor de F;

$GL_{regressão}$ = Graus de liberdade da regressão;

$SQ_{regressão}$ = Soma dos quadrados da regressão;

$GL_{resíduos}$ = Graus de liberdade dos resíduos;

FM = Fator de Meyer;

e = Exponencial.

Para a validação da equação hipsométrica de melhor desempenho, as alturas das 10 árvores separadas para validação foram comparadas com as respectivas alturas estimadas através da equação escolhida, utilizando o teste de Qui-quadrado conforme equação (7)

$$\chi_{cal}^2 = \sum \left(\frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i} \right)^2 \quad (7)$$

Em que:

χ_{cal}^2 = Qui-quadrado calculado;

Y_i = Altura observada;

\hat{Y}_i = Altura estimada pelo modelo.

Sendo que Qui-calculado foi comparado ao valor de Qui-tabelado para o nível de probabilidade de 95%, bem como os graus de liberdade do total da amostragem. Os valores tabelados foram comparados com os calculados, se o qui-calculado for maior que o tabelado, rejeita-se a hipótese de que o modelo usado para estimativa de altura é acurado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas dos dados utilizados no ajuste, tendo o diâmetro a altura do peito com mínimo de 14,8 cm e máximo de 35,33 cm, com coeficiente de variação no valor de 21,49%. A altura total por sua vez com mínimo de 12,8 m e máximo de 27,65 m, com coeficiente de variação menor que o diâmetro, no valor de 15,92%.

Em suas origens, a espécie atinge de 20 a 30 m de altura, com registro de até 50 m em sítios excepcionais (SHIMIZU & MAIOCHI, 2007). NINO et al. (2010) em estudo para *Cryptomeria japonica* no Japão com idades variando de 33 a 39 anos, reportaram alturas variando de 11,06 m a 16,45 m em dois sítios distintos, porém com todos os diâmetros menores dos que os apontados no presente estudo, sendo o diâmetro máximo 21,7 cm aos 35 anos, com respectiva altura de 15,17 m. INOUE & YOSHIDA (2004) em estudo com diversa amplitude de idade para *C. japonica*, em idades próximas a 30 anos apresentava valores médios de 14 a 17 m de altura, com variação de diâmetro entre 15 e 22 cm. YEN et al. (2008) para *C. japonica* de 37 anos cultivada em Taiwan, com amplitude de diâmetro entre 13 e 31 cm, obtiveram alturas médias variando de 14,2 a 17,9 m. NISHIZONO et al. (2014) analisaram florestas de *C. japonica* com idades variando até 100 anos, sendo que mesmo em sítios superiores aos 30 anos a altura dominante era inferior a 25 m.

DOBNER JUNIOR et al. (2013) em estudo para *C. japonica* aos 25 anos, plantada em Santa Catarina, obtiveram diâmetro médio de 27,2 cm (amplitude de 14 – 39,1 cm) e altura média de 24,2 m, variando entre 16,6 e 28,7 m. Nota-se então o menor porte das *C. japonica* cultivadas na Ásia, sendo portanto outro indicativo de bom desempenho da espécie em território brasileiro.

A Tabela 2 apresenta os coeficientes estimados e suas respectivas estatísticas de ajuste. As estatísticas não tiveram grandes variações entre os modelos, com coeficiente de determinação variando entre 0,518 e 0,554, conforme MACHADO et al. (1994) relações hipsométricas costumam apresentar estatísticas de ajuste pobres, com valores aquém dos desejados em uma regressão, porém

ainda assim não perdem sua importância em um inventário florestal. O erro padrão da estimativa entre 10,158 e 10,554 %.

TABELA 1 – Estatística descritiva dos pares de dados utilizados no ajuste.

Estatística	Diâmetro	Altura
Mínimo	14,80	12,80
Máximo	35,33	27,65
Amplitude	20,53	14,85
Média	24,77	22,03
Variância	28,32	12,30
Desvio padrão	5,32	3,51
Erro padrão	0,87	0,58
Coeficiente de variação	21,49%	15,92%
Intervalo de confiança (5%)	$14,0 \leq x \leq 35,6$	$14,9 \leq x \leq 29,1$

TABELA 2 – Coeficientes e estatísticas de ajuste dos modelos testados.

Modelo	Coeficientes			$R^2_{aj.}$	$S_{yx\%}$	F	α F
	β_0	β_1	β_2				
Stoffels	1,158	0,603		0,523	10,506	44,443	1,033E-07
Curtis	3,684	-14,331		0,554	10,158	49,582	3,378E-08
Henriksen	-16,901	12,216		0,551	10,191	48,034	4,696E-08
Parábola	-5,506	1,763	-0,025	0,550	10,203	24,608	2,464E-07
Reta	9,955	0,487		0,518	10,554	42,285	1,691E-07

A Figura 1 apresenta a dispersão gráfica dos resíduos gerados pelos modelos. Todos obtiveram resultado similar, com nenhum apresentando tendência ou resíduos de grande proporção, sendo o resíduo máximo 43,2% e o mínimo -22,2%.

Baseado nos critérios adotados no presente trabalho, indica-se o modelo de Curtis para a estimativa da relação altura e diâmetro a altura do peito para a base de dados analisada.

A Figura 2 apresenta a dispersão gráfica dos valores estimados pelo modelo ajustado de Curtis e dos observados em relação ao diâmetro, evidenciando assim a ausência de tendência no modelo.

Foi realizado o teste de validação da equação hipsométrica ajustada, com 10 indivíduos independentes da amostra, considerando o teste de Qui-Quadrado não há diferença significativa ao nível de 95% de probabilidade, sendo portanto eficaz a equação hipsométrica ajustada.

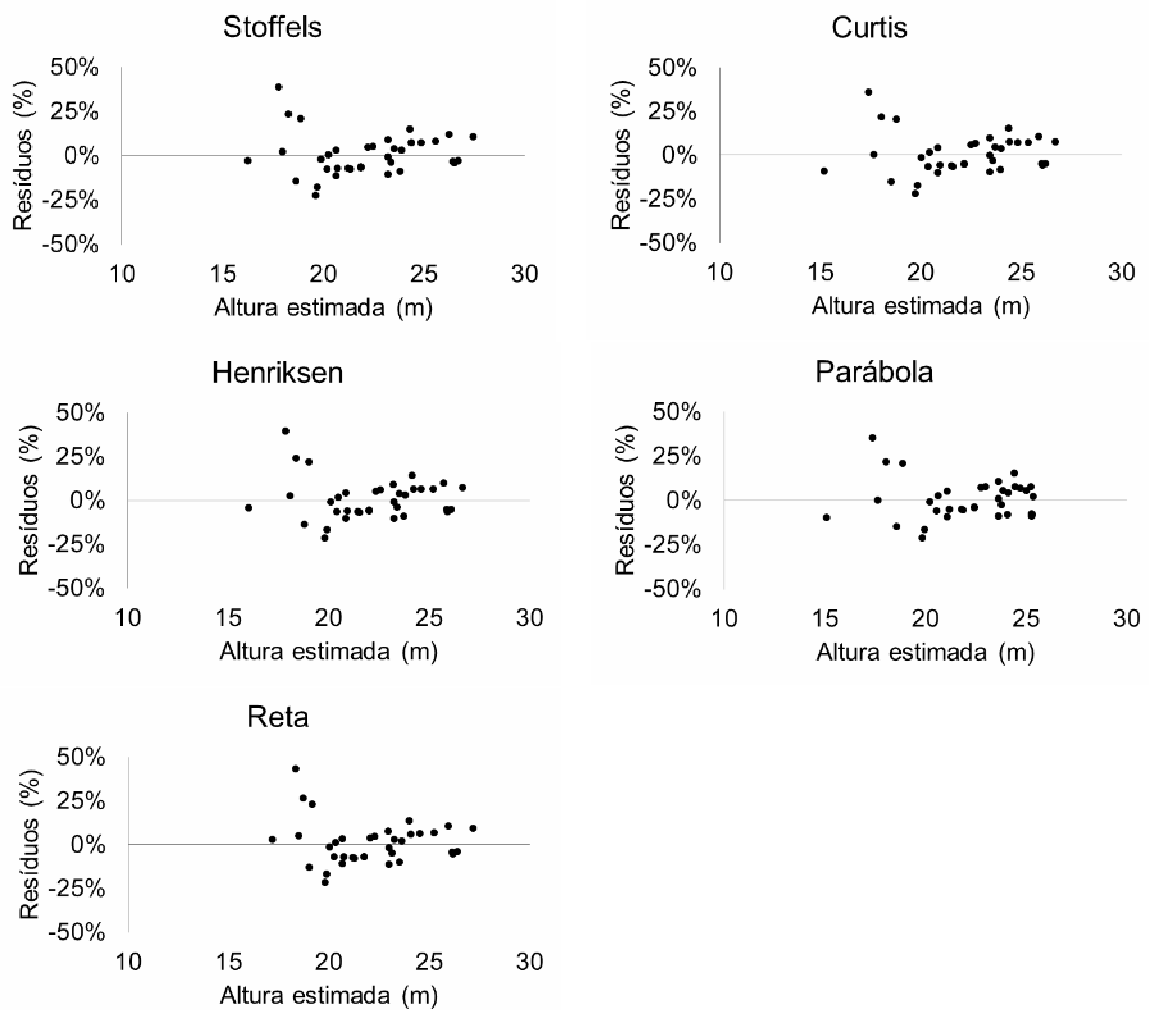


FIGURA 1 – Dispersão gráfica dos resíduos.

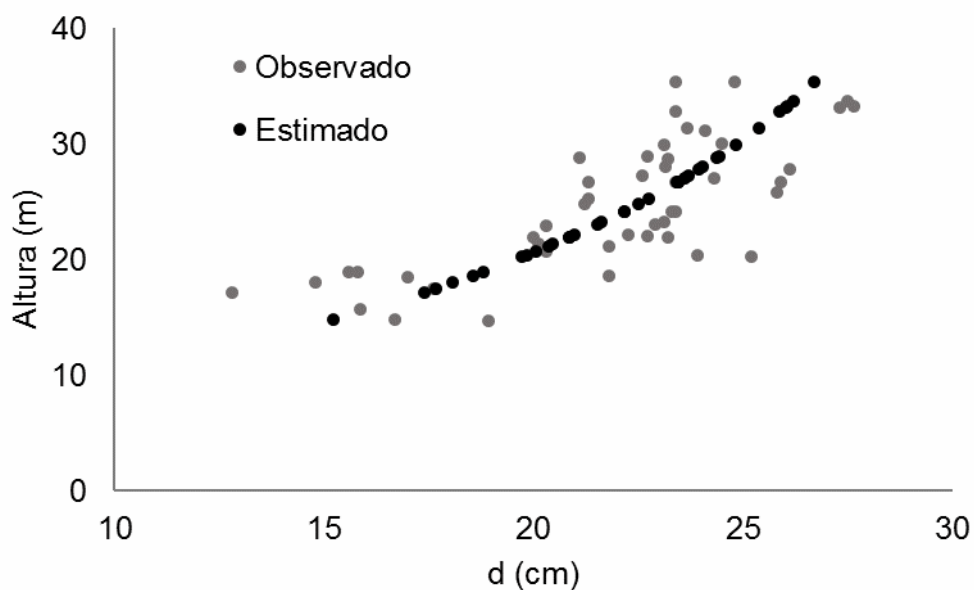


FIGURA 2 – Disposição gráfica das alturas observadas e das alturas estimadas pelo modelo de Curtis.

CONCLUSÃO

Os modelos testados tiveram desempenhos similares no ajuste, porém, com base nas estatísticas de precisão e análise de resíduos, indica-se o modelo de Curtis para a estimativa da altura em função do diâmetro a altura do peito para *Cryptomeria japonica* em povoamento de idades até 33 anos.

REFERENCIAS

BEUTLING, A.; BATISTA, A. C.; STOLLE, L.; TETTO, A. F.; ALVES, M. V. G. Caracterização e modelagem de material combustível superficial em povoamentos de *Pinus elliottii*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 3, p. 443-452, 2012.

CURTO, R. A.; LOUREIRO, G. H.; MÔRA, R.; MIRANDA, R. O. V.; NETTO, S. P.; SILVA, G. F. Relações hipsométricas em floresta estacional semidecidual. **Revista Ciências Agrárias**, v. 57, n. 1, p. 57-66, 2014.

DOBNER JUNIOR, M.; TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; ARCE, J. E. Crescimento de um povoamento de *Cryptomeria japonica* no Sul do Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 39-46, 2013.

INOUE, A. E YOSHIDA, S. Allometric model of the height–diameter curve for even-aged pure stands of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*). **Journal of Forest Research**, v. 9, p. 325-331, 2004.

ISHIGURI, F.; MARUYAMA, S.; TAKAHASHI, K.; ABE, Z.; YOKOTA, S.; YOSHIZAWA, M. A. N. Extractives relating to heartwood color changes in sugi (*Cryptomeria japonica*) by a combination of smoke-heating and UV radiation exposure. **Journal of Wood Science**, v.49, p.135-139, 2003.

MACHADO, S. A.; BAILEY, R. L.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JUNIOR, V. G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliottii* no Paraná. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 5-12, 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**, n. 56, p. 5-16, 2008.

NINO, N.; MURAMATSU, K.; DAIGO, M.; SOYAMAC, N. A study on estimation of trees height in japanease cedar and japanease cypress in nara using Alos/prism satellite sensor. International Archives of the Photogrammetry, **Remote Sensing and Spatial Information Science**, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan, p. 908-911, 2010.

NISHIZONO, T.; KITAHARA, F.; IEHARA, T.; MITSUDA, Y. Geographical variation in age–height relationships for dominant trees in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) forests in Japan. **Journal of Forest Research**, v. 19, p. 305-316, 2014.

SANTOS, C. B.; LONGHI, S. L.; HOPPE, J. M.; MOSCOVICH, F. A. Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L.F.) D. Don. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 10, n. 2, p. 1-15, 2000.

SANQUETTA, C. R., WATZLAWICK, L. F., CORTE, A. P. D., FERNANDES, L. A. V., SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários Florestais: planejamento e execução**. Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2009. 316p.

SHIMIZU, J. Y. E MAIOCHI, R. A. Criptoméria como espécie alternativa para produção de madeira no Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**., Colombo, n. 54, p. 63-70, 2007.

THIERSCH, C. R.; ANDRADE, M. G.; MOREIRA, M. F. B.; LOIBEL, S. Estimativa da relação hipsométrica em clones de *Eucalyptus* sp. com o modelo de Curtis ajustado por métodos bayesianos empíricos. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 1-8, 2013.

YEN, T. M.; LEE, J. S.; HUANG, K. L.; LIU, C. C. Growth and yield models for thinning demonstration zones of Taiwan Red cypress (*Chamaecyparis formosensis* Matsum.) and Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations in central Taiwan. **Journal of Forest Research**, v. 33, n. 3, p. 1-13, 2008.