

FUNÇÕES PARA DESCREVER A RELAÇÃO ALTURA DIÂMETRO DE *Eucalyptus dunnii* Maiden¹

FUNCTION THE HYSOMETRIC RELATION OF *Eucalyptus dunnii* Maiden

Magda Léa Bolzan Zanon² César Augusto Guimarães Finger³ Paulo Renato Schneider³
Jorge Euclides Meyer Klein⁴ Maria Cristina Bueno Coelho²

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivos definir uma equação para descrever as alturas de árvores de *Eucalyptus dunnii* Maiden em função dos diâmetros medidos a altura do peito. Os dados foram coletados em árvores amostras com idade de seis e sete anos, em quatro hortos florestais da empresa Riocell S.A. localizados na Depressão Central e Encosta do Sudeste do Rio Grande do Sul. Foram ajustados modelos matemáticos, com o emprego do procedimento Forward de regressão, para descrever a relação hipsométrica. Na seleção dos modelos foram considerados as estatísticas de coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa em percentagem da média (Syx %), bem como, a análise de resíduos dos modelos, tendo sido selecionada a equação $\ln(h-1,30) = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \log^2 d$, com coeficientes $R^2 = 0,8921$ e $Syx \% = 2,5175$.

Palavras-chave: relação hipsométrica, equações, eucalyptus.

SUMMARY

The present work had the objective to define an equation to describe plant heights in function of diameters of *Eucalyptus dunnii* Maiden. Data were collected in four properties of Company Riocell S.A distributed along several counties of the Central Depression and Southeast Slope of the State of Rio Grande do Sul. The trees sampled were six to seven years old. The datas were adjusted to heights and diameters to describe the hypsometric relation, using the Forward regression procedure. In the selection

of the model, the coefficient of determination statistics (R^2), standard error of estimate in percentage of means (Syx %) as well as residue analyses of the models were considered. The best height estimations were obtained with the equations $\ln(h-1,3) = b_0 + b_1 \log d + b_2 \ln^2 d$, which showed the following coefficients $R^2 = 0.8921$ and $Syx \% = 2.5175$.

Key words: hypsometric relation, equations, eucalyptus.

INTRODUÇÃO

A região de ocorrência natural de *Eucalyptus dunnii* Maiden, restringe-se a pequenas áreas no nordeste de Nova Gales do Sul e no sudeste de Queensland, na Austrália.

No Brasil a espécie foi introduzida recentemente tendo se destacado na Região Sul pelo crescimento rápido e uniforme, boa forma das árvores e ainda pela tolerância a geadas. A principal limitação para sua utilização em plantios comerciais consiste na baixa produção de sementes. Como a importação em grande escala é difícil, os plantios ficam condicionados a disponibilidades de sementes ou de mudas obtidas através da propagação vegetativa.

¹Trabalho financiado pela FAPERGS.

²Acadêmica do Curso de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97119-900, Santa Maria, RS.

³Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, CCR, UFSM. Autor para correspondência.

⁴Engenheiro Florestal da Riocell, S.A., São Geraldo, 1680, 92500-000 - GUAÍBA, RS.

Levando-se em conta a grande demanda de madeira para a produção de polpa de madeira, o *Eucalyptus dunnii* Maiden também vem sendo empregado para suprir esta necessidade, produzindo polpa de boa qualidade, com bom rendimento no processo industrial de fabricação de celulose.

Dada a importância da espécie e a necessidade de implementar o planejamento florestal, torna-se necessário estudar as relações hipsométricas para a espécie, dentre as quais a relação hipsométrica, pois possibilita conhecer com precisão a altura das árvores indiretamente, reduzindo o tempo e o custo do levantamento de dados no inventário florestal.

A relação hipsométrica descreve a relação entre o diâmetro e a altura da árvore. Esta pode ser representada por um modelo matemático sendo, frequentemente, usada para fornecer as alturas das árvores que tiverem apenas o diâmetro medido. Esta relação é influenciada pela posição sociológica da árvore no povoamento e difere para árvores de classes sociológicas diferentes (HUSCH, et al., 1982). Em florestas equiâneas a diferenciação da floresta em estratos, iniciada quando o povoamento atinge o ponto de estado denso, altera a relação altura/diâmetro. A qualidade do sítio também influencia esta relação. Em sítios bons, as melhores condições locais aceleram o crescimento favorecendo a formação de classes sociológicas. Em conseqüência, povoamentos jovens em sítios bons mostram uma curva de altura íngreme, enquanto, em sítios pobres as curvas, para a mesma espécie, são mais achatadas. Também deve ser considerado que o ângulo da curva de altura em função do diâmetro é uma característica da espécie.

A análise dos coeficientes das funções de regressão, para descrever a relação da altura e do diâmetro, tem mostrado que, com o aumento da idade, os coeficientes angulares apresentam somente uma variação ao acaso, enquanto o intercepto da função tende a diminuir. Assim, torna-se possível estimar o valor do intercepto para diferentes sítios naturais mantendo o valor do ângulo de inclinação constante (STERBA, 1986). FINGER (1991), também não encontrou diferença significativa entre os coeficientes b_1 para dados de 1732 árvores de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* distribuídas sobre 147 unidades amostrais.

Para se conseguir uma boa representação gráfica ou funcional da relação hipsométrica e alcançar suficiente precisão nas estimativas são necessários cerca de 30-40 alturas abrangendo toda a amplitude de variação dos diâmetros (Schimidt apud SILVA, 1976). Os critérios para a seleção do melhor modelo de regressão são diversos. Alguns autores usam somente

uma estatística, o que pode ser perigoso por não definir com certeza a viabilidade do modelo ajustado (FINGER, 1992). De acordo com o autor, as estatísticas do coeficiente de determinação (R^2), erro padrão residual (Syx) e a análise da distribuição dos resíduos usados em conjunto possibilitam selecionar mais eficientemente um modelo.

Na construção de modelos para determinar indiretamente a altura, SCHIMIDT (1977) utilizou dados de 10 unidades amostrais testando equações logarítmicas, aritméticas, quadráticas e exponenciais. O modelo selecionado, usando como critério, apenas o erro padrão da estimativa, foi o de Stoffels:

$$\log(h) = b_0 + b_1 \cdot \log d.$$

BLANCO JORGE (1983) testou vários modelos de regressões para descrever a relação hipsométrica de *Pinus elliottii* Engelm e selecionou o modelo:

$$\frac{d^2}{(h-1,30)} = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d t, \text{ considerando para } (h-1,30)$$

isso as estimativas do coeficiente de determinação, do erro padrão residual e ainda a análise dos resíduos contra as variáveis independentes diâmetro e idade dos povoamentos.

VEIGA et al. (1974) estudaram relações hipsométricas em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith, no Estado de São Paulo, selecionando o modelo aritmético: $h = b_0 + b_1 d + b_2 d^3$ e, SCHNEIDER et al. (1988), para povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, na região de Guaíba, RS, concluíram que as melhores estimativas de altura foram obtidas através da equação:

$$\frac{1}{\sqrt{(h-1,30)}} = \frac{d^2}{b_0 + b_1 d + b_2 d^2}$$

Assim, o presente trabalho teve como objetivos definir uma equação para descrever as alturas de árvores de *Eucalyptus dunnii* Maiden em função dos diâmetros medidos a altura do peito.

MATERIAL E MÉTODOS

As informações dendrométricas foram coletadas em povoamentos florestais que se localizam, aproximadamente, a 30 20' de latitude sul, nas regiões

fisiográficas da Depressão Central e Encosta do Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. Nesta região predomina o clima tipo "Cfa", subtropical úmido, com a temperatura média das máximas oscilando em torno de 25 C, a média das mínimas ao redor de 15,5°C. A temperatura média anual de 19,3°C, com precipitação média anual de aproximadamente, 1322mm, segundo a classificação climática de Koeppen (MORENO, 1961). O solo encontrado na região está classificado nas unidades de mapeamento: Vacacaí, Guaíba, São Jerônimo, Pinheiro Machado, Camaquã, Pelotas, Alto das Canas, Bom Jesus e Rio Pardo (LEMOS et al., 1973).

Os povoamentos apresentavam idades de seis e sete anos, tendo sido originados por mudas produzidas em tubetes plásticos, em viveiro. O plantio à campo obedeceu a um espaçamento regular de 3,0 x 2,5 metros, em solo preparado com escarificação e gradagem.

Neste estudo foram utilizados dados de 80 árvores cubadas pelo método de Smalian, com comprimento das secções de 2,20m. A amostragem das árvores foi feita obedecendo o critério de manter o mesmo número de árvores nas diferentes classes de dimensão de tronco. Para isso, foi feito o controle da frequência em classes de diâmetro, especialmente criadas para cobrir a variação compreendida entre o diâmetro mínimo e o máximo observado, respectivamente, 6cm e 25cm. Para cobrir a amplitude de variação dos diâmetros e sítios foram estabelecidas seis classes e mensuradas 13 árvores por classe.

Após o levantamento, os pares de dados constituídos de diâmetro com casca (d), expresso em centímetros, e a posição de medição ao longo do tronco (h), expressa em metros, foram utilizados no cálculo dos modelos de regressão.

Os modelos matemáticos pré-estabelecidos, apresentados na Tabela 1, foram solucionados através do pacote estatístico SAS, pelo procedimento Forward de seleção com 0,50 de probabilidade para adição de variável.

Na comparação entre os modelos foram consideradas as estatísticas de coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa em percentagem da média

$$Syx = 100 \cdot \sqrt{QMDesviosdomodelo/média}$$

bem como a análise de resíduos dos modelos, de acordo com o apresentado por FINGER (1992).

Tabela 1 - Modelos testados para descrever a relação entre a altura e o diâmetro de árvores de *Eucalyptus dunnii*.

Número	Modelo
1	$1/\sqrt{(h - 1,30)} = b_0 + b_1/d$
2	$(h - 1,30) = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$
3	$h = b_0 + b_1/d^2$
4	$\ln (h - 1,30) = b_0 + b_1/d$
5	$\ln (h - 1,30) = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln^2 d$

Onde: d = diâmetro a altura do peito em cm; h = altura total da árvore em m; b_0 , b_1 , b_2 = coeficientes; \ln = logaritmo natural.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 são apresentadas as estimativas dos coeficientes (b_0 , b_1 , b_2), coeficiente de determinação (R^2), e erro padrão da estimativa em percentagem da média ($Syx\%$), dos modelos testados para descrever a relação hipsométrica de *Eucalyptus dunnii*. De acordo com os resultados apresentados o melhor modelo é $\ln (h - 1,30) = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln^2 d$, modelo 5 da tabela. Este, apresenta alto coeficiente de determinação (R^2), ligeiramente menor que o do modelo 2, no entanto, o menor erro padrão da estimativa em percentagem da média ($Syx\%$) dentre os cinco modelos testados. A análise de resíduos da variável dependente contra as independentes não mostraram tendências o que permitiu ratificar a escolha realizada com o R^2 e $Syx\%$. O modelo 4 também apresenta potencialidade para descrever a relação estudada, pois além de apresentar estimativas de ajuste semelhantes ao modelo selecionado também mostrou boa distribuição dos resíduos, podendo ser usado como modelo alternativo para descrever a relação entre a altura e o diâmetro desta espécie.

Tabela 2. Estimativas dos coeficientes (b_0 , b_1 , b_2), coeficiente de determinação (R^2), e erro padrão da estimativa em percentagem da média ($Syx\%$), dos modelos testados para descrever a relação hipsométrica de *Eucalyptus dunnii*.

Modelo*	b_0	b_1	b_2	R^2	$Syx\%$
1	0,04304	0,9137	-	0,8734	8,96
2	2,06209	1,5766	-0,0274	0,8952	6,59
3	25,22023	-756,5500	-	0,8057	8,42
4	3,49329	-7,7047	-	0,8884	2,55
5	-0,12751	1,7408	-0,2201	0,8921	2,52

*Conforme apresentado na Tabela 1.

CONCLUSÕES

A relação hipsométrica de *Eucalyptus dunnii* na região da Depressão Central e Encosta do Sudeste no RS, pode ser descrita pelo modelo:

$$\ln(h-1,30) = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln^2 d$$

(h = altura expressa em m; d = diâmetro a altura do peito em cm).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLANCO JORGE, L.A. Equações de relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus elliotti* E., na Floresta Nacional de Três

Barras, SC. *Brasil Florestal*, Brasília, n. 56, p. 41-47, 1983.

FINGER, C.A.G. *Ein Beitrag zur Estragskunde von Eucalyptus grandis und Eucalyptus saligna in Suedbrasilien*. Wien: Universitaet fuer Bodenkultur, 137 p. 1991. (Tese de doutorado).

FINGER, C.A.G. *Fundamentos de Biometria Florestal*. Santa Maria: UFSM/FATEC/CEPEF, 1992. 269 p.

HUSCH, B., MILLER, I.C., BEERS, T.W. *Forest Mensuration*. New York: J. Wiley, 1982. 402 p.

LEMONS, R.C., AZOLIN, M.A.D., ABRAO, P.V.R., et al. *Levantamento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife: Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária - Divisão de Pesquisa Pedológica. 1973. 431 p. (Boletim Técnico n. 301).

MORENO, J.A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura - R.S., 1961, 41 p.

SCHIMIDT, P.B. Determinação indireta da relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus taeda*, L. *Floresta*. Piracicaba, v. 8, n. 1, p. 24-27, 1977.

SCHNEIDER, P.R., FINGER, C.A.G., MENEZES, L.F., et al. *Fundamentos de planejamento da produção para o manejo florestal de Eucalyptus grandis (Hill.) Maiden e Eucalyptus saligna Smith*. Santa Maria: CEPEF/Fatec, 1988. 179 p.

SILVA, J.A. Determinação da relação entre diâmetro e altura e estimativa dos erros casuais em volume para um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert). *Revista do Centro de Ciências Rurais*. Santa Maria, v. 6, n. 3, p. 343-351, 1976.

STERBA, H. *Holzmesslehre*. Wien: Univ. f. Bodenkultur. 1986. 169 p.

VEIGA, R.A.A, CARVALHO, C.M, BRASIL, M.A.M. Relações hipsométricas altura-diâmetro em povoamentos de *Eucalyptus*. *Floresta*. Piracicaba, v. 5, n. 1, p. 64-67, 1974.