

## FUNÇÕES DE FORMA PARA *Eucalyptus dunnii* Maiden IMPLANTADOS NA DEPRESSÃO CENTRAL E ENCOSTA DO SUDESTE DO RIO GRANDE DO SUL<sup>1</sup>

### TAPER OF *Eucalyptus dunnii* Maiden ESTABLISHED IN THE CENTRAL DEPRESSION AND SOUTHEAST SLOPE OF THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

César Augusto Guimarães Finger<sup>2</sup> Magda Lea Bolzan Zanon<sup>3</sup> Paulo Renato Schneider<sup>2</sup>  
Jorge Euclides Meyer Klein<sup>4</sup> Maria Cristina Bueno Coelho

#### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar a forma do tronco do *Eucalyptus dunnii* Maiden, para estimativas de sortimentos. Os dados foram obtidos pela cubagem de árvores amostras com idades entre 6 e 7 anos, pelo método de Smalian, em quatro hortos florestais localizados na Depressão Central e Encosta do Sudeste do Rio Grande do Sul. Os valores de diâmetro e altura observados ao longo dos troncos foram ajustados, com o emprego do procedimento Forward de regressão, a modelos matemáticos para descrever a forma das árvores, tendo a seleção dos modelos sido realizada através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do erro padrão da estimativa em percentagem ( $Syx\%$ ), bem como pela análise de resíduos. As melhores estimativas foram obtidas com o modelo:  $d_i/d = b_0 + b_1(h_i/h) + b_2(h_i/h)^2 + b_3(h_i/h)^3$ , o qual apresentou  $R^2$  de 0,9577 e  $Syx$  de 8,14 %.

**Palavras-chave:** forma do tronco, eucalyptus, modelos.

#### SUMMARY

The present work had for objective study taper of *Eucalyptus dunnii* Maiden, for assortment estimations. Data was collected in 4 properties of company Riocell S.A distributed along several municipalities of the Central Depression and Southeast Slope of the State of Rio Grande do Sul. The trees sampled were 6 to 7 years old, and were cubated by the Smalian Method. The data was adjusted to a mathematic model to describe the trees taper, using the forward regression procedure. In the selection of the mathematic model the statistics coefficient of determination ( $R^2$ ), standard error in percentage ( $Syx\%$ ) as well as the residue analysis of the models were considered. The best estimation was obtained with the model:  $d_i/d = b_0 + b_1(h_i/h) + b_2(h_i/h)^2 + b_3(h_i/h)^3$ , with  $R^2 = 0.9577$  and  $Syx = 8.14\%$ .

**Key words:** taper, eucalyptus, models.

<sup>1</sup>Trabalho financiado pela FAPERGS

<sup>2</sup>Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97119-900 - Santa Maria, RS. Autor para correspondência.

<sup>3</sup>Acadêmicas do Curso de Engenharia Florestal, CCR, UFSM.

<sup>4</sup>Engenheiro Florestal da Riocell S.A., São Geraldo, 1680, 92500 - Guaíba, RS.

## INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus dunnii* Maiden ocorre naturalmente em 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 a boa 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.

Dada a grande demanda de madeira para a produção de polpa, o *Eucalyptus dunnii* também vem sendo empregado para suprir esta necessidade, produzindo polpa de boa qualidade e apresentando bom rendimento no processo industrial, e também mostrando grande potencial para outros usos, como postes para eletrificação, madeira roliça para a construção civil, carvoejamento, entre outras aplicações.

Assim o estudo biométrico desta espécie torna-se necessário para permitir a quantificação e qualificação dos seus povoamentos, sendo objetivo, no presente trabalho, a determinação de funções para descrever a forma, especificamente a variação dos diâmetros ao longo do tronco da árvore.

O estudo da forma das árvores é fundamental para a determinação e otimização dos sortimentos da árvore e do povoamento. As variações na forma de um fuste são decorrentes do espaçamento, tratos culturais, posição sociológica, idade e sítio a que está submetido, não apresentando uma forma homogênea, mas várias formas geométricas. Por isso, segundo Hengst apud SILVA (1982), a verdadeira definição da forma dos troncos por processos analíticos é praticamente impossível de ser obtida. Ainda, Jokela apud SILVA (1982), pesquisou a forma do tronco para a espécie *Picea excelsa*, verificando que uma função hiperbólica descrevia a parte côncava inferior, que a função logarítmica descrevia a parte central convexa e que os últimos cinco metros eram descritos por um cone.

A forma da árvore é afetada pelo crescimento e este pelo ambiente. Árvores que crescem em espaçamento aberto ou árvores emergentes apresentam maior incremento em diâmetro nas partes inferiores do tronco diminuindo, esta taxa, ao longo do mesmo a medida que aumenta a altura de observação. Com isso são gerados troncos de base maior e de maior estabilidade. Ao contrário, quando o povoamento fecha o dossel e as copas concorrem entre si, o máximo incremento se desloca para cima, dando origem a troncos com tendência cilíndrica (ASSMANN, 1970; KRAMER, 1988; STERBA, 1988).

Outras influências na distribuição natural do incremento ao longo do tronco são causadas pela poda, adubação e mesmo pelos poluentes. De acordo com KRAMER (1988), a poda verde alta e a ação dos poluentes irão influenciar negativamente o crescimento mais na porção inferior do tronco do que junto a copa. A adubação, ao contrário, deslocará o incremento diamétrico mais para a parte basal da árvore.

Segundo SILVA (1982), a maioria dos esforços desenvolvidos para definir a forma do tronco das árvores procura demonstrar como obter diâmetros a partir das alturas relativas. O autor, estudando funções de forma para povoamentos de *Pinus taeda*, *Picea excelsa*, *Abies alba* e *Pinus silvestris*, as quais foram construídas tendo como variáveis o diâmetro a altura do peito ( $d$ ), diâmetros ( $d_i$ ), tomados ao longo do tronco nas alturas relativas  $h_i$  obteve bons resultados com a equação:  $(d_i/d)^2 = a_0 + a_1 (h_i/h) + a_2 (h_i/h)^2$  exceto para a espécie *Pinus taeda* que foi melhor ajustada pelo modelo:  $\ln (h_i - 1,3)/(h - 1,3) = b_1 \ln (d - d_i)/d + b_2 [ \ln(d - d_i)/d ]^2$ .

A variação na forma da árvore com o aumento da idade foi estudada por MACHADO (1982) com base em 52 árvores dominantes de *Araucaria angustifolia* distribuídas em diferentes sítios e idades. De acordo com o autor, o aumento da idade trouxe maior homogeneidade do tronco como um todo. A parte basal modificou-se aproximando-se da forma neilóide, enquanto na parte superior acentuava-se a forma parabolóide.

Os estudos sobre a forma do tronco com espécies e procedências de *Pinus* e *Eucalyptus*, realizadas por GUIMARÃES (1982), mostraram que a forma do fuste de uma espécie é afetada, pelo espaçamento utilizado e que o local pouco ou nenhuma influência causava.

SCHNEIDER (1986), estudando a forma do tronco para *Pinus elliottii* Engelm, testou várias equações e verificou que todas apresentaram superestimativas, principalmente na base e no ápice das árvores.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os povoamentos florestais de onde foram coletados as informações dendrométricas localizam-se, 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. A temperatura média das máximas oscila em torno de 25°C, a média das mínimas ao redor de 15,5°C e a temperatura média anual é de 19,3°C com precipitação média anual de aproximadamente 1322 mm, segundo a classificação climática de Koeppen (MORENO, 1961). O solo encontrado 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 6 e 7 anos, tendo sido originados por mudas produzidas em tubetes plásticos. O plantio à campo obedeceu a um espaçamento regular de 3 X 2,5 metros, em solo preparado com escarificação e gradagem.

As árvores amostras, em número de 80, foram cubadas pelo método de Smalian, com secções de 2,20m de comprimento. Para fins de controle na amostragem, as árvores foram classificadas em classes de diâmetros com amplitudes de 4,0cm, sendo 6,0cm o diâmetro mínimo observado e 25,0cm o máximo. Para cobrir toda a variação dos diâmetros e sítios foram estabelecidas 6 classes, sendo mensuradas 13 árvores por classe.

Após o levantamento, os pares de dados constituídos de diâmetro com casca em centímetros e a posição de medição ao longo do tronco (altura) 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.

Tabela 1. Modelos de regressão testados para descrever a forma da árvore.

Nº	MODELO	AUTOR*
1	$d_i^2/d^2 = b_0 + b_1 \cdot h_i/h + b_2 \cdot h_i^2/h^2$	Munro
2	$\ln(d_i/d) = b_0 + b_1 \cdot \ln[(h-h_i)/h]$	Anonym
3	$d_i^2/d = b_0 + b_1 \cdot [h_i/(h-1)] + b_2 \cdot [h_i^2/(h^2-1)]$	Kozak et al.
4	$d_i/d = b_0 + b_1 \cdot [h_i/(h-1.30)]$	Munro
5	$\ln(d_i/d) = b_0 + b_1 \cdot \ln[(h-h_i)/h] + b_2 \cdot \ln^2[(h-h_i)/h]$	Silva & Sterba
6	$d_i/d = b_0 + b_1(h_i/h) + b_2(h_i/h)^2 + b_3(h_i/h)^3$	-

\* apud SCHNEIDER (1986)

Onde:  $d_i$  = diâmetro a altura  $i$ ;  $d$  = diâmetro a altura do peito;  $h_i$  = altura na posição  $i$ ;  $h$  = altura total da árvore;  $b_0, b_1, b_2, b_3$  = coeficientes;  $\ln$  = logaritmo natural.

Na comparação entre os modelos foram consideradas as estatísticas de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro padrão da estimativa em percentagem (Syx %), bem como a análise de resíduos dos modelos, de acordo com o apresentado por FINGER (1992).

O modelo selecionado por este processo foi empregado para calcular regressões independentes para cada uma das árvores cubadas. Após foram realizados estudos de modelagem através do procedimento "stepwise", do mesmo pacote estatístico, visando obter funções para descrever as

relações entre os estimadores dos parâmetros  $b$ 's ( $b_0, b_1, b_2, b_3$ ), calculados com o modelo selecionado para cada uma das árvores amostras, em função de variáveis de fácil medição como o diâmetro a altura do peito ( $d$ ), altura total da árvore ( $h$ ), e suas transformadas: quadráticas, recíprocas e logarítmicas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de diâmetro e altura mensurados na cubagem das 80 árvores foram testados, em conjunto único, com cada um dos modelos matemáticos apresentados na Tabela 1 permitindo verificar através da análise do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro padrão da estimativa em percentagem (Syx %), a superioridade do modelo número 6 para descrever a forma das árvores amostras, conforme apresentado na Tabela 2. O coeficiente de determinação para este modelo alcançou 95,8%, superior a qualquer outro e o erro padrão da estimativa foi de 8,14%, inferior aos demais. Com base nos mesmos critérios, verificou-se que o modelo 4 apresentou valores de coeficientes de determinação e erro padrão da estimativa em percentagem semelhantes ao modelo 6, o que também permitiu selecioná-lo.

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros ( $b_0, b_1, b_2, b_3$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e, erro padrão residual (Syx %) dos modelos testados para descrever a forma da árvore apresentados na Tabela 1.

Modelo	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$R^2$	Syx%
1	1,3258	-2,8870	1,7420	-	0,9162	19,98
2	-0,0034	1,3389	-	-	0,8241	13,62
3	17,9958	-397,2200	-1,2524	-	0,6580	44,85
4	1,1185	-0,9506	-	-	0,9383	9,81
5	-0,9458	6,0400	-0,2204	-	0,8625	-48,61
6	1,1805	-2,1225	2,9371	2,1320	0,9577	8,14

Os dois modelos selecionados para descrever a forma das árvores de *Eucalyptus dunnii*, foram a seguir empregados em regressões individuais para cada uma das árvores cubadas, originando um conjunto de 80 coeficientes ( $a_0, a_1, a_2, a_3$ ) para cada um dos modelos.

Estes coeficientes utilizados em nova modelagem pelo método "stepwise" para definir funções auxiliares que permitissem estimar indiretamente os coeficientes  $b$ 's, dos modelos selecionados, em função de variáveis de fácil determinação à campo, e também aumentar a precisão das estimativas do modelo, deram origem aos modelos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Modelo gerado a partir dos coeficientes calculados no modelo 6, através do procedimento stepwise de regressão e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erro padrão da estimativa em percentagem (Syx%).

Modelo	$R^2$	Syx%
$b_0 = a_0 + a_1 (1/d)$	0,3997	15,02
$b_1 = a_0 + a_1 1/h^2 + a_2 b_0$	0,6981	-4,11
$b_2 = a_0 + a_1 b_0 + a_2(h/d) + a_3 \log(h/d) + a_4(1/d)$	0,7999	26,36
$b_3 = a_0 + a_1(h/d) + a_2 \log(h/d)$	0,7473	-55,48

Estes modelos apresentaram coeficientes de determinação entre 0,3997 e 0,7990 e erro padrão da estimativa entre -55,48 e 26,36%. Entretanto as estimativas dos novos coeficientes obtidas, tanto para o modelo 6 como para o 4, não foram consistentes, impossibilitando o seu emprego.

A análise dos resíduos das variáveis independentes versus a variável dependente mostrou, graficamente, a grande dispersão dos dados o que também evidenciou não ser possível obter regressões precisas para estas relações.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios, coeficiente de variação em percentagem e valores mínimos e máximos observados dos coeficientes calculados para o modelo 6 definido na Tabela 1. Estes resultados mostram a baixa variação para os coeficientes  $a_0$  e  $a_3$ , ambos abaixo de 5,5%, mas variações percentuais de 27 e 57% para os coeficientes  $a_1$  e  $a_2$  indicando a necessidade de estratificar os dados em dois grupos distintos com o objetivo de reduzir a variabilidade entre os coeficientes calculados.

Tabela 4. Coeficientes médios, coeficiente de variação em percentagem (CV%) e valores mínimos e máximos observados para o modelo 6.

Modelo	Parâmetro estimado	Coefficiente Médio	CV%	Mínimo	Máximo
6	$a_0$	1,1895	5,3	1,0818	1,3448
	$a_1$	-2,3000	27,0	-4,6932	-1,3602
	$a_2$	3,7028	57,4	-0,6172	16,9206
	$a_3$	-2,9235	1,1	-28,9102	1,7120

Uma nova modelagem realizada com cada um dos dois grupos: para diâmetros até 15cm e maiores que 15cm, respectivamente, também não possibilitou encontrar modelos matemáticos consistentes para estimar os coeficientes do

modelo 6 e 4, confirmando mais uma vez, a tendência observada quando da modelagem com um único conjunto de dados.

Os resultados mostraram não ser possível, para o conjunto de dados amostrados, a reestimativa dos coeficientes dos modelos gerais (4 e 6) como funções das variáveis diâmetro, altura ou suas transformadas. Desta forma, as estimativas serão obtidas pelo emprego dos coeficientes médios do modelo geral, ou seja, os coeficientes calculados com as 80 árvores cubadas formando um único grupo de dados conforme apresentado na Tabela 2.

A comparação entre os modelos 4 e 6 selecionados, realizada pela análise de variância, mostrou ser o modelo 6 o que melhor descreve a forma das árvores de *Eucalyptus dunnii*, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Análise de variância entre os modelos 4 e 6, selecionados para descrever a forma de *Eucalyptus dunnii*.

Modelo Nº	SQ	GL	QM	F
4	2,96483	681	$4,35364 \cdot 10^2$	
6	1,19447	523	$2,28388 \cdot 10^2$	49,0604
Diferença	1,17704	153	0,11205	

De acordo com estes resultados verifica-se que existe diferença estatística significativa ao nível de 5% de probabilidade entre o modelo 6 e 4, conforme expressa o valor F calculado, caracterizando a superioridade do modelo 6, em relação ao modelo 4, para descrever a forma do tronco de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

## CONCLUSÕES

Dentre todos os modelos testados os que melhor estimam a forma do *Eucalyptus dunnii* são o modelo de MUNRO e o polinômio do terceiro grau. Embora os dois modelos possam ser empregados para descrever a forma do *Eucalyptus dunnii* Maiden na região da Depressão Central e Encosta do Sudeste do Rio Grande do Sul, o modelo  $d/d = b_0 + b_1(h/h) + b_2(h/h)^2 + b_3(h/h)^3$  mostra melhor ajuste. Não é possível descrever a associação dos coeficientes de regressão, gerados para cada uma das árvores cubadas, com variáveis dendrométricas de fácil medição, sendo necessário o uso dos coeficientes médios de regressão para descrever a forma das árvores, obtendo-se bom ajuste dos dados com o modelo geral.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ASSMANN, E. *The principles of forest yield study*. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- FINGER, C.A.G. *Fundamentos de Biometria Florestal*. Santa Maria: UFSM, 1992. 269 p.
- GUIMARÃES, D.P. A Pesquisa sobre a forma dos troncos no CPAC/EMBRAPA. In: **SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: O USO DE FUNÇÕES DE FORMA DO TRONCO EM ESTUDO DE VOLUMETRIA DE ESPÉCIES FLORESTAIS**. 1981, Curitiba. *Anais...* Curitiba, EMBRAPA-URPFCS, 1982. 108 p. p. 99-101.
- KRAMER, H. *Waldwachstumslehre*. Hamburg: Paul Parey, 1988. 374 p.
- LEMOS, 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.
- MACHADO, S.A. Influência da idade na forma do fuste de *Araucaria angustifolia* em plantações no Brasil. In: **SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: O USO DE FUNÇÕES DE FORMA DO TRONCO EM ESTUDO DE VOLUMETRIA DE ESPÉCIES FLORESTAIS**. 1981, Curitiba. *Anais...* Curitiba, EMBRAPA-URPFCS, 1982. 108 p. p. 51-55.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura - R.S., 1961. 41 p.
- SCHNEIDER, P.R. Forma de Tronco e Sortimentos para *Pinus elliottii* Engelm., da Floresta Nacional de Passo Fundo Rio Grande do Sul. *Acta For Bras*, Curitiba, n. 1, p. 43-64, 1986.
- SILVA, J.A. Funções de Forma dos Troncos do *Pinus taeda*, *Picea excelsa*, *Abies alba* e *Pinus silvestris*. In: **SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: O USO DE FUNÇÕES DE FORMA DO TRONCO EM ESTUDO DE VOLUMETRIA DE ESPÉCIES FLORESTAIS**. 1981, Curitiba. *Anais...* Curitiba, EMBRAPA-URPFCS, 1982. 108 p. p. 29-43.
- STERBA, H. **Vorlesungsunterlagen zur Forstlichen Ertragslehre**. Wern Univ. f. Bodenkultur. 1988. 150 p. (unpublished)