

AJUSTE DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA UM POVOAMENTO DE EUCALYPTUS GRANDIS HILL EX. MAIDEN MANEJADO EM ALTO FUSTE PARA SERRARIA EM CACHOEIRA DO SUL, RS

Ewerson Bruno de Albuquerque Costa¹; Amanda Freitas de Oliveira¹; Eduardo Pagel Floriano²

⁽¹⁾ Graduando(a) em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Centro de Ciências Agrárias – CECA, BR 104 Norte KM 85 S/N Mata do Rolo, Rio Largo, Alagoas, Brasil

⁽²⁾ Eng.º Florestal, Dr.º, Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Centro de Ciências Agrárias – CECA, BR 104 Norte KM 85 S/N Mata do Rolo, Rio Largo, Alagoas, Brasil

brunoalbuquerquec@gmail.com, AmandaFreitas001@live.com, eduardopagelfloriano@gmail.com

Identificação do evento: Apresentado no IV Congresso Brasileiro de Eucalipto – 07 a 08 de agosto de 2019, Salvador/BA.

RESUMO: Os modelos de distribuição diamétrica são usualmente utilizados no setor florestal para prognosticar a produção, no entanto, a precisão das estimativas requer um modelo que melhor adeque os dados observados. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo selecionar a função de distribuição probabilística (fdp) que melhor estima a distribuição diamétrica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. O estudo foi conduzido no município de Cachoeira do Sul, RS, em um povoamento de *E. grandis* com 14 anos de idade manejado em alto-fuste. Amostrou-se 436 árvores, sendo medidos os diâmetros à altura do peito (DAP) de todas. Foram calculadas as estatísticas descritivas para verificar aspectos básicos da variável DAP. Para estimativa da distribuição diamétrica do povoamento foram ajustadas as fdps: Weibull, Normal, Log-normal e Gama. A eficiência das funções foi verificada pelos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises e Anderson-Darling. Foi realizado um teste de comparação de médias afim de verificar a existência de diferenças significativas entre as médias estimadas pelas fdps. Além disso, foi feita uma análise de variância entre as estimativas pelos modelos e as observações. O valor de assimetria obtido foi positivo, tendo os valores concentrados à direita da distribuição, sendo a média maior do que a mediana, com alongamento da curva para a direita e maior inclinação à esquerda. As funções Normal, Log-normal e Gama apresentaram os melhores desempenhos na descrição da estrutura diamétrica do *E. grandis*, porém, a função Normal apresentou as melhores estatísticas de ajuste e maior aderência ao conjunto de dados.

Palavras-chave: funções de densidade probabilística, manejo florestal, florestas plantadas.

INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de florestas plantadas possui grande destaque em virtude de sua capacidade produtiva (HASELEIC et al., 2004), em especial as de eucalipto, que são as mais cultivadas no país com 7,4 milhões de ha (IBGE, 2017).

A utilização da madeira de eucalipto possui diversos usos, e dentre as espécies do gênero destaca-se o *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. Segundo Rocha (2010), o mesmo possui grande importância pois obteve uma boa adaptação em quase todas as regiões do Brasil, com elevado potencial silvicultural e plantios em larga escala. Além disso, o autor expõe que suas árvores apresentam boa forma, vantagem esta que permite o fornecimento de toras adequadas para a produção de serrados, mostrando, ainda, uma massa específica ideal para a produção de móveis. No que tange aos estudos para madeira de serraria, o *E. grandis* tem sido objeto de destaque nos diversos que vem sendo realizados desde a metade dos anos 90 (MORAES-NETO, 2017).

A distribuição diamétrica é uma informação necessária na maioria das decisões de manejo florestal e planejamento da produção (SILVA, 2001; BINOTI et al., 2013), permitindo, na prática, a quantificação do volume total e por sortimentos, estimação sólida dos custos de colheita, inferências sobre o estágio de desenvolvimento do povoamento, previsão de rendimentos futuros do povoamento e a simulação consistente de regimes de corte (CAMPOS & LEITE, 2009). Elas podem ser divididas em unimodal, multimodal, normal, J-invertido, contínua e descontínua ou errática.

A principal característica dos modelos de distribuição diamétrica é o emprego de uma função de densidade probabilística (fdp) e, nos estudos de crescimento e produção florestal, a função Weibull tem sido usada extensivamente (SILVA, 2001). Contudo, a escolha da fdp que melhor representa os dados observados determina a precisão das estimativas por classe de diâmetro (BINOTI et al., 2013).

Portanto, diante do exposto, o trabalho teve como objetivo selecionar a função de distribuição probabilística que melhor estima a distribuição diamétrica de um povoamento de *E. grandis*, aos 14 anos de idade manejado em alto fuste.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden com 14 anos de idade, numa área de efetivo plantio com, aproximadamente, 319 ha inserida em coordenadas próximas à 30°23'34"S e 52°47'36"W, sendo a produção de madeira para serraria o objetivo principal do cultivo.

O plantio inicial foi feito com espaçamento de 3 x 3 m, comportando um total de 1.111 arv. ha⁻¹. Contudo, a floresta sofreu desbastes por baixo aos 8 e 11 anos de idade, tendo-se reduzido a densidade para as atuais 377 arv. ha⁻¹.

O inventário florestal foi realizado em 15 parcelas, cada uma com área de 400 m² (20 x 20m). De todos os indivíduos amostrados, totalizados em 436 árvores, foram medidos os diâmetros à altura do peito (DAP).

Foram calculadas as estatísticas descritivas média, desvio padrão, assimetria, curtose, erro padrão da média dos DAP, mediana, amplitude dos diâmetros, mínimo e máximo valor, amplitude interquartil e coeficiente de variação para verificar o comportamento da variável DAP. Para estimativa da distribuição diamétrica do povoamento foram ajustadas as fdps: Weibull, Normal, Log-normal e Gama (Tabela 1). O procedimento utilizado no ajuste foi o Univariate do *software* SAS University Edition.

Tabela 1. Funções de densidade probabilística utilizadas para o ajuste da distribuição diamétrica de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. aos 14 anos de idade manejado em alto fuste, localizado em Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul.

Função	Fórmula	Condições
Weibull	$f(x; \kappa, \lambda, \theta) = \frac{\kappa}{\lambda} \left(\frac{x - \theta}{\lambda}\right)^{\kappa-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-\theta}{\lambda}\right)^\kappa}$	Onde, para $x \geq \theta$ e $f(x; \kappa, \lambda, \theta) = 0$ para $x < \theta$, onde $\kappa > 0$ é o parâmetro de forma, $\lambda > 0$ é o parâmetro de escala e θ é o parâmetro de locação da distribuição; quando $\theta = 0$, a distribuição é reduzida à dois parâmetros.
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	Onde, μ = média, ou parâmetro de locação; σ = desvio padrão, ou parâmetro de escala; $-\infty < x < \infty$.
Log-normal	$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	Onde, para $x > 0$, μ e σ são a média e desvio padrão do logaritmo da variável (por definição, o logaritmo da variável é normalmente distribuído), respectivamente.
Gama	$f(x; \alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)}$	Onde, a distribuição Gama é uma família de distribuição contínua de probabilidade de dois parâmetros; tem um parâmetro de escala θ e um parâmetro de forma κ ; se κ é um inteiro, então a distribuição representa a soma de κ variáveis aleatórias exponencialmente distribuídas, cada uma delas têm um parâmetro θ . Modelos de funções para probabilidade acumulada: lineares; não-lineares.

Fonte: adaptado de Floriano (2018).

A eficiência das funções foi verificada pelos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises e Anderson-Darling. Foi realizado um teste de comparação de médias (Tukey) à 5% de probabilidade de erro afim de verificar a existência de diferenças significativas entre as médias estimadas pelas fdps. Além disso, foi feita uma análise de variância entre as estimativas pelos modelos e as observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variável diâmetro apresentou coeficiente de variação de 20%, o que indica tendência homogênea quanto a sua distribuição, e, ainda, valores da média e mediana muito próximos (Tabela 2).

O coeficiente de assimetria obtido para a distribuição diamétrica, evidenciou um valor positivo (Tabela 2), tendo os valores concentrados à direita da distribuição, sendo a média maior do que a mediana, com alongamento da curva para a direita e maior inclinação à esquerda, o que é compatível com os dois desbastes por baixo aplicados ao povoamento. Logo, destaca-se que a utilização do modelo obtido pela distribuição normal apresentará poucos erros nas estimativas.

O valor alcançado para curtose se aproxima de zero, indicando que a curva tem altura próxima da distribuição normal padronizada, sendo minimamente achatada (curtose negativa) (Tabela 2).

Tabela 2. Estatísticas descritivas para variável diâmetro à altura do peito (DAP) dos indivíduos de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. aos 14 anos de idade manejados em alto fuste, localizados em Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul.

ESTATÍSTICAS DA AMOSTRAGEM	
Número de observações	436
Número de parcelas	15
Média dos diâmetros (cm)	25,23
Desvio Padrão (cm)	5,05
Assimetria	0,2414
Curtose	-0,0095
Coefficiente de Variação (%)	20,01

Erro Padrão da Média dos DAP (cm)	0,24
Mediana (cm)	25
Amplitude (cm)	28
Mínimo valor (cm)	14
Máximo valor (cm)	42
Amplitude Interquartil (cm)	6

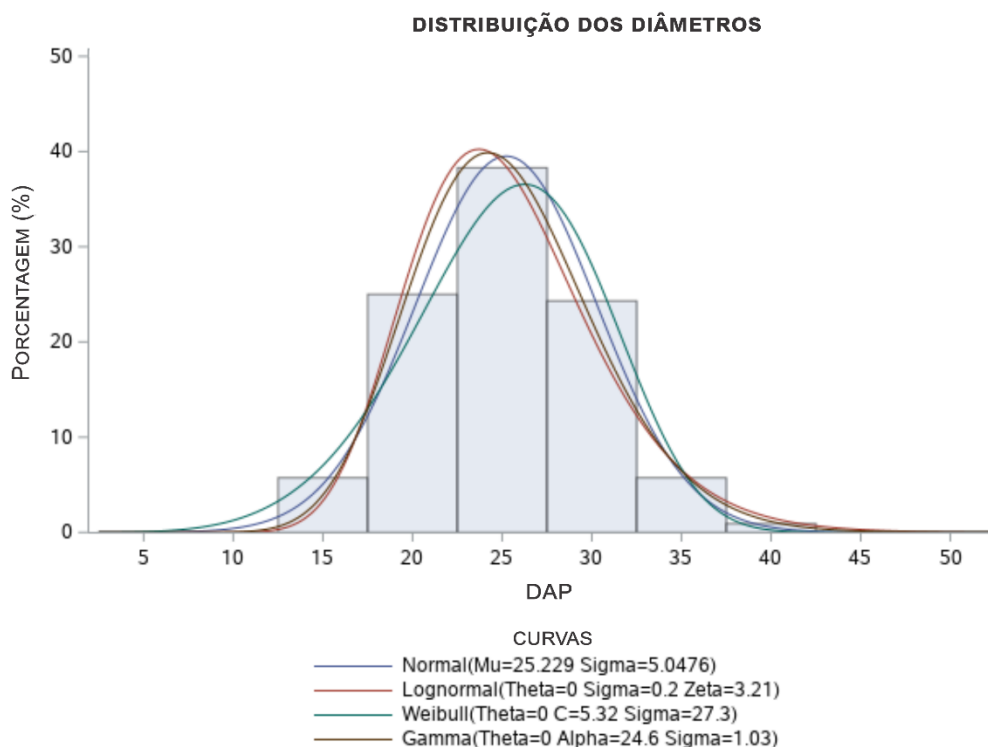
A função que apresentou melhor ajuste, com menor valor da estatística dos testes de Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises e Anderson-Darling, foi a Normal, seguida da Gama e Log-normal (Tabela 3). Os valores dos testes de qualidade corroboraram a viabilidade do uso da distribuição diamétrica Normal nas estimativas. Contudo, os mesmos testes indicaram que a função de Weibull não foi eficiente para representar a distribuição diamétrica de *E. grandis*.

Tabela 3. Testes de qualidade do ajuste das funções de densidade probabilística dos diâmetros de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. aos 14 anos de idade, manejado em alto fuste, no município de Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul.

Teste	Estatística	Normal		Log-normal		Weibull		Gama	
		Valor	Prob.	Valor	Prob.	Valor	Prob.	Valor	Prob.
Kolmogorov-Smirnov	D	0,061438	<0,010	0,091158	<0,010	-	-	0,082335	<0,001
Cramer-von Mises	W-Sq	0,187550	0,008	0,361459	<0,005	0,342107	<0,010	0,248157	0,001
Anderson-Darling	A-Sq	1,097657	0,007	2,006073	<0,005	2,417084	<0,010	1,342841	0,002

Como pode ser observado na Figura 1, as curvas estimadas pelas funções Normal, Log-normal e Gama se aproximaram da distribuição diamétrica observada, confirmando o indicativo dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises e Anderson-Darling, onde as referidas funções apresentaram melhores desempenhos. A função de Weibull não propiciou uma curva próxima aos valores observados.

Figura 1. Curvas de distribuição diamétrica para os diâmetros de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. aos 14 anos de idade manejado em alto fuste no município de Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul.



Os resultados da análise de variância evidenciaram que houve diferença significativa entre as estimativas pelos modelos e observações ao nível de 5% de probabilidade de erro (Tabela 4). Os valores dos quantís foram diferentes, o que já era esperado por serem progressivos de 1% a 90%.

Tabela 4. Análise da variância entre estimativas pelos modelos e as observações, onde FV = fontes de variação; SQ = soma de quadrados; GL = graus de liberdade; MQ = quadrados médios; F = teste F.

FV	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Quantís	2682,91271	8	335,364089	641,315434	4,5218E-33	2,244396
Modelo	6,77202238	4	1,69300559	3,23752797	0,02441399	2,668437
Resíduos	16,7338103	32	0,52293157			
Total	2706,41854	44				

De acordo com os dados da Tabela 5, as estimativas obtidas pelo modelo de distribuição Weibull difere dos valores observados, ao contrário dos demais, que não apresentaram diferenças. Portanto, os modelos de distribuição Log-normal, Gama e Normal podem ser utilizados para estimar a distribuição diamétrica do plantio de *E. grandis* estudado.

Tabela 5. Comparação de médias entre as estimativas dos modelos e as observações do diâmetro de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. aos 14 anos de idade manejado em alto fuste no município de Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul.

Equação/Observações	Média	Diferenças					Grupos do Tukey
		Log-normal	Gama	Observado	Normal	Weibull	
Lognormal	25,91	0,00	0,25	0,47	0,68	1,14	A
Gama	25,66	0,25	0,00	0,22	0,43	0,89	A
Observado	25,44	0,47	0,22	0,00	0,22	0,67	A
Normal	25,23	0,68	0,43	0,22	0,00	0,46	A
Weibull	24,77	1,14	0,89	0,67	0,46	0,00	B

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade de erro, pelo teste de Tukey.

CONCLUSÕES

A distribuição diamétrica da espécie estudada apresenta-se em forma positiva, indicando que os valores estão concentrados à direita da distribuição.

De maneira geral, as funções Normal, Log-normal e Gama apresentaram os melhores desempenhos na descrição da estrutura diamétrica do *E. grandis*. Entretanto, a função Normal apresentou as melhores estatísticas de ajuste e maior aderência ao conjunto de dados. Por outro lado, a função Weibull obteve os piores desempenhos dentre as funções de distribuição de diâmetro testadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; SILVA, A. Modelos de distribuição de diâmetros utilizando a função log gama. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 103-107, jan./mar. 2013.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. Viçosa, MG: UFV, 2009. 548 p.

FLORIANO, E. P. **MANEJO FLORESTAL**: para sustentabilidade e excelência. Rio Largo, AL: Edição do autor, 2018. 356 p.

HASELEIN, C. R.; LOPES, M. C.; SANTINI, E. J.; LONGHI, S. J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D. L. G.; MENEZES, L. F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Rio de Janeiro, v. 32, p.1-8, 2017.

MORAES-NETO, S. P. **Madeira de eucalipto para serraria**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2017. 56 p.

ROCHA, M. P. **Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus dunnii Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias**. 2000. 157f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

SILVA, A. A. L. **Emprego de modelos de crescimento e produção em análise econômica de decisões de manejo florestal**. 2001. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.