

FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA A DESCRIÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE DIÂMETROS EM POVOAMENTOS FLORESTAIS DESBASTADOS

Luandson Araújo de SOUZA¹
Harliany de Brito MATIAS¹
Daniel Henrique Breda BINOTI¹
Helio Garcia LEITE²
Adriano Ribeiro de MENDONÇA³
Gilson Fernandes da SILVA³
Jovane Pereira da CRUZ⁴

- RESUMO:objetivou-se nesse estudo avaliar a eficiência das funções Weibull, Hiperbólica, Log-logística, Logística generalizada, Fatigue e Frechet para a descrição da estrutura diamétrica de povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste. Os dados desse estudo são provenientes de um experimento sobre desbastes, localizados em três instalações, abrangendo locais com capacidades produtivas extremas e intermediárias, instalado na região nordeste da Bahia em 1992. O povoamento era composto de híbridos de *Eucalyptus grandis*×*Eucalyptus urophylla*, sendo o espaçamento inicial de 3,0 × 3,0 m. Os dados de dap de cada parcela e época de medição foram agrupados em classes de diâmetro com amplitude de 1 cm. O ajuste das funções foi realizado pelo método da máxima verossimilhança, utilizando o software FitFD. Para avaliar a aderência das funções aos dados, utilizou-se o teste Kolmogorov-Smirnov (KS) com 5% de probabilidade. Para melhor avaliação das funções, também foi realizada a análise gráfica entre os valores observados e os correspondentes estimados. Os ajustes de todas as funções resultaram em aderência pelo teste KS a 5% de probabilidade. Sendo assim, as funções testadas neste estudo podem ser utilizadas para a descrição da estrutura diamétrica do gênero *Eucalyptus* sob regime de desbastes, destacando-se as funções Logística generalizada e Hiperbólica.
- PALAVRAS-CHAVE:Eucalipto; FitFd; hiperbólica; logística generalizada.

1 Introdução

¹ Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, CEP 29550-000, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil. E-mail: luandsonsouza@gmail.com; harlianymatias@gmail.com; danielhbbinoti@gmail.com

² Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa – UFV, CEP 36570-900, Viçosa, MG, Brasil E-mail: hgleite@gmail.com

³ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, CEP 29550-000, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil, E-mail: ribeiroflorestal@yahoo.com.br / fernandes5012@gmail.com

⁴ Bahia Pulp. CEP 42810-290, Camaçari, BA, Brasil, E-mail: jovane_cruz@bahiapulp.com

Um das principais buscas da gestão e do planejamento florestal é o uso de métodos eficazes que permitam projetar características estruturais dos povoamentos, favorecendo a análise e tomada de decisões (BETTINGER et al., 2009).

Neste sentido, a modelagem da distribuição de diâmetros se torna importante para quantificação do crescimento e produção da floresta, principalmente quando se trabalha com multiprodutos da madeira. A descrição eficaz da distribuição diamétrica de povoamentos equiâneos é imprescindível para o planejamento da condução da floresta possibilitando análise econômica adequada, simulação de desbaste, desrama, corte final e projeção de volume (CAMPOS e LEITE, 2013).

A melhor forma de descrever a estrutura horizontal de um povoamento é por meio de funções densidade de probabilidade (*fdp*) (HUSCH e BEERS e KERSHAW JUNIOR, 2003; MACHADO et al., 2009). Essas funções vêm sendo utilizadas para a realização de diversas análises acerca da estrutura de povoamentos, como, por exemplo: prognose do volume por classe diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus grandis* (ABREU et al., 2002), descrição da estrutura diamétrica e povoamentos equiâneos de *Tectona grandis* submetidos a desbastes (BINOTI, 2008), projeção da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto em diferentes amplitudes de classes (ARAÚJO JUNIOR et al., 2010), funções de distribuição diamétrica em um fragmento de floresta ombrófila mista (MACHADO et al., 2009), dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* (TÉO et al., 2011).

A função densidade probabilidade mais utilizada no setor florestal é a Weibull. Porém, existem diversas funções capazes de representar a distribuição diamétrica, como: Hiperbólica (LEITE et al., 2010), Frechet (BINOTI e BINOTI e LEITE, 2012), log-logística, logística generalizada, Fatigue life (BINOTI et al., 2012), Gamma (MACHADO et al., 2009), Log-normal, S_B de Johnson, Normal, Meyer, Beta (CARELLI NETO, 2008).

Sendo assim, torna-se de grande importância avaliar essas funções, buscando a que representa melhor as condições locais de cada povoamento, e, a partir disso, utilizar tais funções em modelos de prognose do crescimento e da produção. Por isso, objetivou-se nesse estudo avaliar a eficiência das funções Weibull, Hiperbólica, Log-logística, Logística generalizada, Fatigue e Frechet para a descrição da estrutura diamétrica de povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste.

2 Material e métodos

2.1 Descrição dos dados

Os dados desse estudo são provenientes de um experimento sobre desbastes, localizado em três instalações, abrangendo locais com capacidades produtivas extremas e intermediárias, instalado na região nordeste da Bahia em 1992 (LEITE et al., 2013). O povoamento era composto de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, sendo o espaçamento inicial de 3,0 x 3,0 m.

Cada instalação consistiu de quatro tratamentos em dois blocos, totalizando 48 parcelas experimentais de 2.600 m² de área útil. Os tratamentos aplicados corresponderam a 20, 35 e 50% de área basal removida em cada desbaste, eliminando-se os piores indivíduos e seguindo os princípios mencionados em Marshall e Curtis (2002). O quarto tratamento consistiu em um peso de 35% de desbaste acrescido de desrama artificial aos 18 meses de idade.

As parcelas permanentes foram mensuradas anualmente de 27 aos 156 meses, com um desbaste sendo realizado aos 58 meses e outro aos 132 meses. Em cada ocasião, foi medido o diâmetro a 1,30 m da superfície do solo de todas as árvores da parcela, além das correspondentes alturas totais.

2.2 Descrição das funções

Para cada parcela foram ajustadas as seguintes funções:

Weibull

A distribuição Weibull pode ser expressa da seguinte forma (BAILEY e DELL, 1973):

$$f(x) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\gamma} \quad (1)$$

para $\alpha < x < \infty$ em que α é o parâmetro de localização, β é o parâmetro de escala ($\beta > 0$), γ o parâmetro de forma ($\beta > 0$) e x é o centro de classe de diâmetro ($x > 0$).

A função Weibull com três parâmetros (3P) pode ser truncada à direita pelo diâmetro máximo da parcela (T):

$$f(x) = \frac{\left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\gamma}}{1 - e^{-\left(\frac{T-\alpha}{\beta}\right)^\gamma}} \quad (2)$$

Hiperbólica

A função tangente hiperbólica descrita por Guimarães (2002) descreve uma distribuição probabilística de curvatura rígida passando pela origem e é descrita pela seguinte maneira:

$$f(x) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} \left\{1 - \tanh\left[\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\gamma\right]\right\} \quad (3)$$

A função hiperbólica com três parâmetros (3P) pode ser truncada à direita pelo diâmetro máximo da parcela (T):

$$f(x) = \frac{\left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} \left\{1 - \tanh\left[\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\gamma\right]\right\}}{\tanh\left[\left(\frac{T-\alpha}{\beta}\right)^\gamma\right]} \quad (4)$$

Log-logística

Segundo Johnson e Kotz e Balakrishnan (1995), a função log-logística pode ser descrita da seguinte forma:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} \left(1 + \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\alpha\right)^{-2} \quad (5)$$

Logística generalizada

Johnson e Kotz e Balakrishnan(1995) definiu a função Logística generalizada como:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{(1 + \alpha z)^{-1-\frac{1}{k}}}{\beta \left(1 + (1 + \alpha z)^{-\frac{1}{\alpha}}\right)^2} & \alpha \neq 0 \\ \frac{e^{(-z)}}{\beta(1 + e^{-z})^2} & \alpha = 0 \end{cases} \quad (6)$$

em que: $z = \frac{x-\gamma}{\beta}$, α é o parâmetro de forma ($\alpha > 0$), β o parâmetro de escala ($\beta > 0$), γ é o parâmetro de locação ($\gamma = 0$).

Fatigue Life

A função fatigue life, também conhecida como Birnbaum-Saunders, foi proposta por Birnbaum e Saunders (1969) e em sua forma completa pode ser escrita como se segue:

$$f(x) = \frac{\sqrt{\frac{(x-\alpha)}{\beta}} + \sqrt{\frac{\beta}{(x-\alpha)}}}{2\gamma(x-\alpha)} \Phi \left[\frac{1}{\gamma} \left(\sqrt{\frac{(x-\alpha)}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{(x-\alpha)}} \right) \right] \quad (7)$$

em que

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad \Phi(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \quad (8)$$

Frechet

A função densidade de probabilidade Frechet em sua forma completa (3P) pode ser escrita da seguinte forma:

$$f(x) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{\beta}{x-\alpha}\right)^{\gamma-1} e \left[-\left(\frac{\beta}{x-\alpha}\right)\right]^{\gamma} \quad (9)$$

As funções Weibull, hiperbólica, log-logística, logística generalizada, fatigue-life e Frechet foram ajustadas na sua forma tradicional, contendo três parâmetros (escala, forma e locação). Para as funções Weibull, hiperbólica, log-logística, o parâmetro de locação pode ser substituído pelo diâmetro mínimo da parcela, e/ou suprimido, gerando as funções com apenas dois parâmetros.

2.3 Ajuste e avaliação das funções densidade de probabilidade

Os dados de dap de cada parcela e época de medição foram agrupados em classes de diâmetro com amplitude de 1 cm. O ajuste das funções foi realizado pelo método da máxima verossimilhança, utilizando o software FitFD, disponível em <http://neuroforest.ucoz.com> (Binoti, 2012). Para avaliar a aderência das funções aos dados, utilizou-se o teste Kolmogorov-Smirnov (KS) com 5% de probabilidade. Para melhor avaliação das funções, também foi realizada a análise gráfica entre os valores observados e os correspondentes estimados. Foi calculada também a correlação linear

simples entre os parâmetros das funções e algumas características dos povoamentos, isto é, DAP mínimo, DAP máximo, diâmetro quadrático e idade.

3 Resultados

Os ajustes de todas as funções resultaram em aderência pelo teste KS a 5% de probabilidade, em que as médias dos valores máximos de (KS) de cada função ajustada estão apresentadas na Tabela 1 (em Anexo). Escolheu-se aleatoriamente uma parcela para a demonstração da análise gráfica entre os valores observados e estimados pelas funções estudadas (Figura 1 – em Anexo). A Tabela 2 (em Anexo) contém os valores de correlação dos parâmetros das funções com características do povoamento.

4 Discussão

O estudo de espécies do gênero *Eucalyptus* vem sendo cada vez mais difundido. Nesse sentido, apesar da existência de diversas funções, a Weibull vem recebendo maior atenção, sendo utilizada em uma de suas formas (HUSCH et al., 2003; BINOTI e BINOTI e LEITE, 2014). Diversas pesquisas fazem uso desta função na modelagem da distribuição de diâmetros pela sua flexibilidade de descrever diferentes tendências e pela facilidade de correlacionar seus parâmetros com características do povoamento (NOGUEIRA et al., 2005; SCNEIDER et al., 2008; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2012; DALLA LANA et al., 2013; BINOTI e BINOTI e LEITE, 2014).

No entanto, em alguns estudos, novas funções vêm se destacando, obtendo resultados satisfatórios de aderência aos dados (BARRA et al., 2011; STEPKA e LISBOA e KURCHAIDT, 2011; BINOTI e BINOTI e LEITE, 2012; BINOTI e BINOTI e LEITE, 2014).

Neste estudo, as funções logística generalizada, hiperbólica (3P) truncada e hiperbólica (3P) apresentaram valores mais satisfatórios para o teste KS do que a função de Weibull, comumente utilizada no setor florestal.

A função hiperbólica possui um ponto de inflexão de 0,76, enquanto que o ponto de inflexão da Weibull é de 0,63. Isto pode explicar o fato desta função ter obtido maior aderência aos dados, pois um maior ponto de inflexão confere à função maior flexibilidade de ajuste aos dados (GUIMARÃES, 2002). Portanto, recomenda-se o teste desta função em modelos de distribuição diamétrica, em substituição à função Weibull (LEITE et al., 2010).

Outro critério de avaliação de funções é a correlação de seus parâmetros com características do povoamento. Nesse sentido, a função logística generalizada apresentou grande potencial para descrever a distribuição diamétrica de povoamentos desbastados de eucalipto. Esta função apresentou alta correlação linear de seus parâmetros com as características do povoamento, além da aderência à estrutura diamétrica, que pode ser verificada na Figura 1.

Mesmo apresentando menor aderência à estrutura diamétrica do povoamento, as funções fatigue-life (2P) e Frechet (2P) apresentaram parâmetros altamente correlacionados linearmente com características do povoamento, o que resulta em funções que permitam melhor estimação da estrutura diamétrica futura (BINOTI et al., 2013).

Houve melhoria na aderência de todas as funções após o primeiro desbaste, com exceção da logística generalizada. Após o segundo desbaste, apenas as funções log-logística, fatigue-life, Frechet e Weibull (2P) (em todas as suas formas) se aderiram melhor aos dados (Tabela 1).

Apesar do expressivo avanço nos estudos de modelagem do crescimento e da produção, os modelos de distribuição diamétrica (MDD) ainda são os mais indicados para prever a produção em povoamentos com regimes de desbaste. No entanto, a modelagem da distribuição diamétrica possui grande dificuldade na simulação de projeções com desbastes (EISFELD, 2004; LEITE et al., 2006). Nesse sentido, funções que consigam melhor aderência após o desbaste, descrevendo, de forma eficiente, a distribuição diamétrica, são fundamentais para o setor florestal.

Esse estudo serve como base para aplicação e desenvolvimento de modelos de distribuição de diâmetros para a simulação do crescimento. Novos estudos, visando à projeção da distribuição diamétrica, devem ser realizados com o objetivo de comparação da eficiência dessas funções, principalmente envolvendo projeções da estrutura dos povoamentos, em vez da predição.

Conclusão

As funções testadas neste estudo podem ser utilizadas para a descrição da estrutura diamétrica do gênero *Eucalyptus* sob regime de desbastes, destacando-se as funções logística generalizada e hiperbólica.

SOUZA, L. A., MATIAS, H. B., BINOTI, D. H. B., LEITE, H. G., MENDONÇA, A. R., FERNANDES, G., CRUZ, J. P. Probability density functions for description of diameter distribution in thinned forest stands. *Rev. Bras. Biom.* Lavras, v.34, n.3, p.421-434, 2016.

- **ABSTRACT:** *The aim of this study was to evaluate the efficiency of functions Weibull, hyperbolic, log-logistics, generalized logistic, fatigue and Frechet to describe the diameter structure of eucalyptus stands subjected to thinning. The data of this study come from an experiment of thinning, located at three facilities, covering area with extreme and intermediate productive capacity, installed in northeastern Bahia in 1992. The stand was composed of Eucalyptus grandis × Eucalyptus urophylla hybrids and initial spacing of 3.0 × 3.0 m. The dbh data of each plot and time measurement were grouped in diameter classes with amplitude of 1 cm. The thinning of the functions was realized by the maximum likelihood method, using the FitFd software. For evaluating the goodness-of-fit of the models to data, it was used Kolmogorov-Smirnov (KS) test with 5% probability. For a better evaluation of the functions, also it was realized graphical analysis between the observed values and the corresponding estimated. The fittings of all functions resulted in adherence by the KS test at 5% probability. Therefore, the functions tested in this study can be used for the description of diametric structure of gender Eucalyptus under thinning regime, standing out the functions generalized logistics and hyperbolic.*
- **KEYWORDS:** *Eucalyptus; FitFd; hyperbolic; generalized logistics.*

Referências

ABREU, E.C.R. et al. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.61, p.86-102, 2002.

- ARAÚJO JÚNIOR, C. A. et al. Uso da função Weibull para descrever a área basal por classe de diâmetro de um povoamento de eucalipto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.40, n.95, p.401-406, 2012.
- ARAÚJO JÚNIOR, C. A. et al. Projeção da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto em diferentes amplitudes de classe. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.45, n.11, p.1275-1281, 2010.
- BAILEY, R.; DELL, T. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, Bethesda, v.19, n.2, p.97-104, 1973.
- BARRA, O. S. V. et al. Proposta metodológica para o ajuste ótimo da distribuição diamétrica SB de Johnson. *Revista Árvore*, Viçosa, v.35, n.1, p.151-156, 2011.
- BETTINGER, P. et al. *Forest Management and Planning*. Elsevier, 2009.331p.
- BINOTI, D. H. B. et al. Modelos de distribuição de diâmetros utilizando a função log gama. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v.33, n.73, p.103-107, 2013.
- BINOTI, D. H. B. *Funções densidade de probabilidade para a descrição da distribuição diamétrica de povoamentos desbastados de Tectona grandis*. 2008. 42 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Emprego da função Frechet para modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto. *Revista Ciência da Madeira*, Pelotas, v.3, n.2, p.144-156, 2012.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Projeção da distribuição diamétrica de povoamentos equiâneos utilizando a Função Nakagami e Weibull. *Revista Ciência da Madeira*, Pelotas, v.5, n.2, p.103-110, 2014.
- BINOTI, D. H. B. et al. Probability density functions for description of diameter distribution in thinned stands of *Tectonagrandis*. *Cerne*, Lavras, v.18, n.2, p.185-196, 2012.
- BINOTI, D. H. B. *Sistemas computacionais aplicados ao manejo florestal*. 2012. 113f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.
- BIRNBAUM, Z. W.; SAUNDERS, S. C. Estimation for a family of life distributions with applications to fatigue. *Journal of Applied Probability*, New York, v.6, n.2, p.319-327, 1969.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. *Mensuração Florestal: perguntas e respostas*. 4.ed. Viçosa: UFV, 2013. 605p.
- CARELLI NETO, C. *Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de Pinus taeda L. em diferentes idades de espaçamentos*. 2008. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.
- DALLA LANA, M. et al. Distribuição diamétrica de *Eschweilera ovata* em um fragmento de floresta ombrófila densa –Igarassu, PE. *Floresta*, Curitiba, v.43, n.1, p.59-68, 2013.

- EISFELD, R. D. L. *Modelagem do crescimento e da produção de Pinus taeda L. por meio de função probabilística e processo de difusão*. 2004. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2004.
- GUIMARÃES, D. P. *Uma função hiperbólica de distribuição probabilística de alta flexibilidade*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 40p.
- HUSCH, B.; BEERS, T.W.; KERSHAW JUNIOR, J. A. *Forest mensuration*. 4.ed. Malabar: Krieger Publishing Company, 2003. 443p.
- JOHNSON, N. L.; KOTZ, S.; BALAKRISHNAN, N. *Continuous univariate distributions*. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 784p.
- LEITE, H. G. et al. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. *Revista Árvore*, Viçosa, v.30, n.3, p.377-387, 2006.
- LEITE, H. G. et al. Avaliação do ajuste das funções Weibull e Hiperbólica a dados de povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste. *Revista Árvore*, Viçosa, v.34, n.2, p.305-311, 2010.
- LEITE, H. G. et al. Comparação entre predição e projeção da distribuição de diâmetros de povoamentos de eucalipto submetidos a desbastes. *Revista Árvore*, Viçosa, v.37, n.2, p.321-328, 2013.
- MACHADO, S. A. et al. Funções de distribuição diamétrica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.8, p.2428-2434, 2009.
- MARSHALL, D. D.; CURTIS, R. O. *Levels-of-growing-stock cooperative study in Douglas-fir: report no.15-Hoskins: 1963–1998*. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 80p.
- NOGUEIRA, G. S. et al. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. *Revista Árvore*, Viçosa, v.29, n.4, p.579-589, 2005.
- SCHNEIDER, P. R. et al. Estimativa dos parâmetros da função de densidade probabilística de Weibull por regressão aninhada em povoamento desbastado de *Pinus taeda* L. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.18, n.3, p.481-491, 2008.
- SCOLFORO, J. R. S. *Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal*. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 2006. 393p.
- STEPKA, T. F.; LISBOA, G. dos S.; KURCHAIT, S. M. Funções densidade de probabilidade para a estimativa da distribuição diamétrica em povoamento de *Eucalyptus* sp na região centro-sul do Paraná. *Revista Ambiente*, Guarapuava, v.7, n.3, p.429-439, 2011.
- TÉO, S. J. et al. Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda*, na região de Caçador, SC. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v.31, n.67, p.183-192, 2011.

Recebido em 17.11.2015

Aprovado após revisão em 17.05.2016

Tabela 1 - Valores do teste de Kolmogorov-Smirnov das funções testadas para todas as medições

Funções	Medição (meses)													
	27	40	50	58	61	76	87	101	112	114	136	147	157	165
Weibull (2P)	0,03	0,06	0,09	0,10	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,11	0,12	0,11
Weibull (3P)	0,03	0,06	0,09	0,10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Weibull (2P) $\alpha = \text{DapMin}$	0,05	0,08	0,11	0,12	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
Weibull (3P) Truncada	0,03	0,06	0,09	0,10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Hiperbólica (2P)	0,02	0,05	0,08	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,13	0,13	0,12
Hiperbólica (3P)	0,02	0,05	0,08	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Hiperbólica(2P) $\alpha = \text{DapMin}$	0,04	0,07	0,10	0,11	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
Hiperbólica (3P) Truncada	0,02	0,05	0,08	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03
Log-Logística (2P)	0,09	0,12	0,15	0,15	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05
Log-Logística (3P)	0,09	0,12	0,15	0,15	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04
Log-Logística (2P) $\alpha = \text{DapMin}$	0,12	0,14	0,16	0,17	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,07	0,08	0,07
Logística Generalizada	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,04
Fatigue Life (2P)	0,09	0,12	0,16	0,16	0,04	0,04	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04
Fatigue Life (3P)	0,06	0,09	0,12	0,13	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03
Frechet (2P)	0,16	0,20	0,22	0,22	0,11	0,11	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,05	0,05	0,06
Frechet (3P)	0,13	0,16	0,19	0,20	0,09	0,09	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05

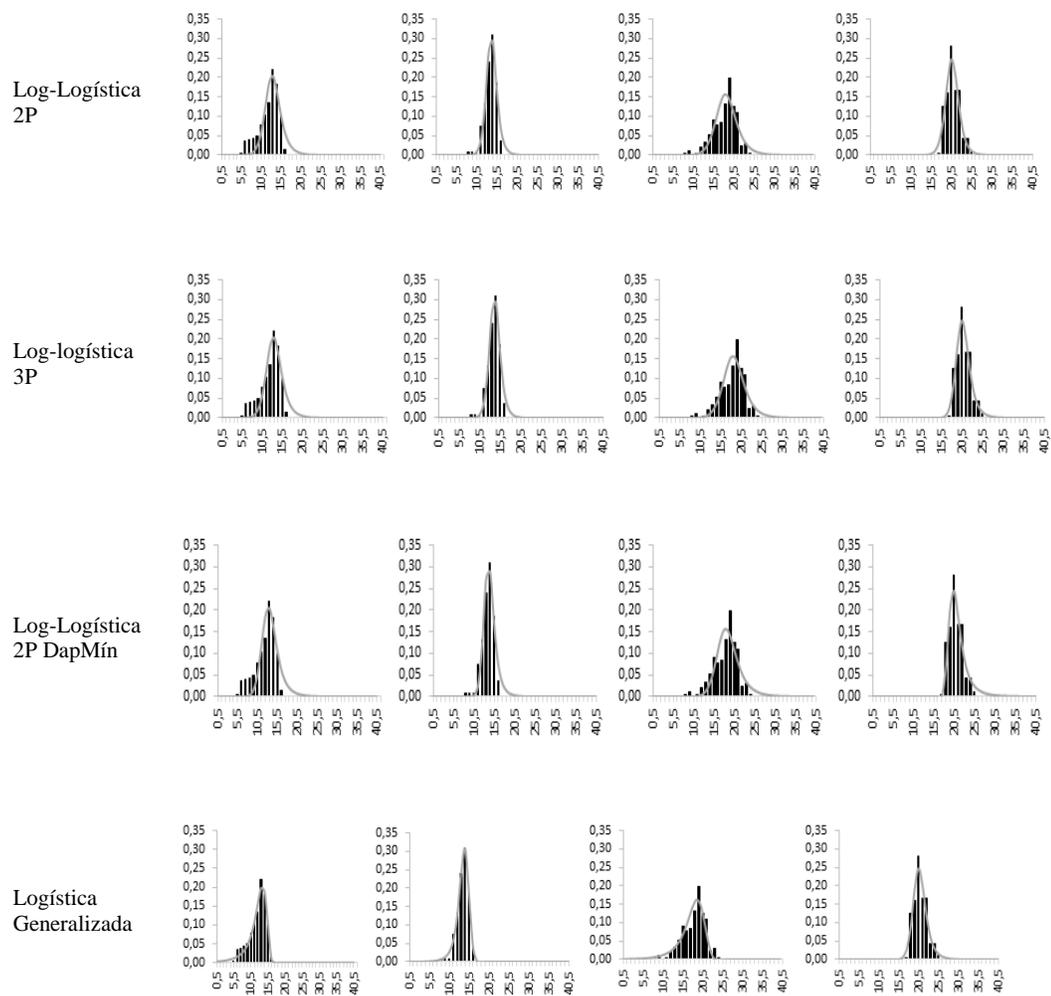


Figura 1 - Distribuição da probabilidade observada (barras) e valores estimados pelas fdps para povoamentos de eucalipto em diferentes idades (linha contínua). Os gráficos são apresentados em ordem cronológica, da esquerda para a direita, representando as seguintes idades (em meses): 58, 61, 136 e 157. (Continua).

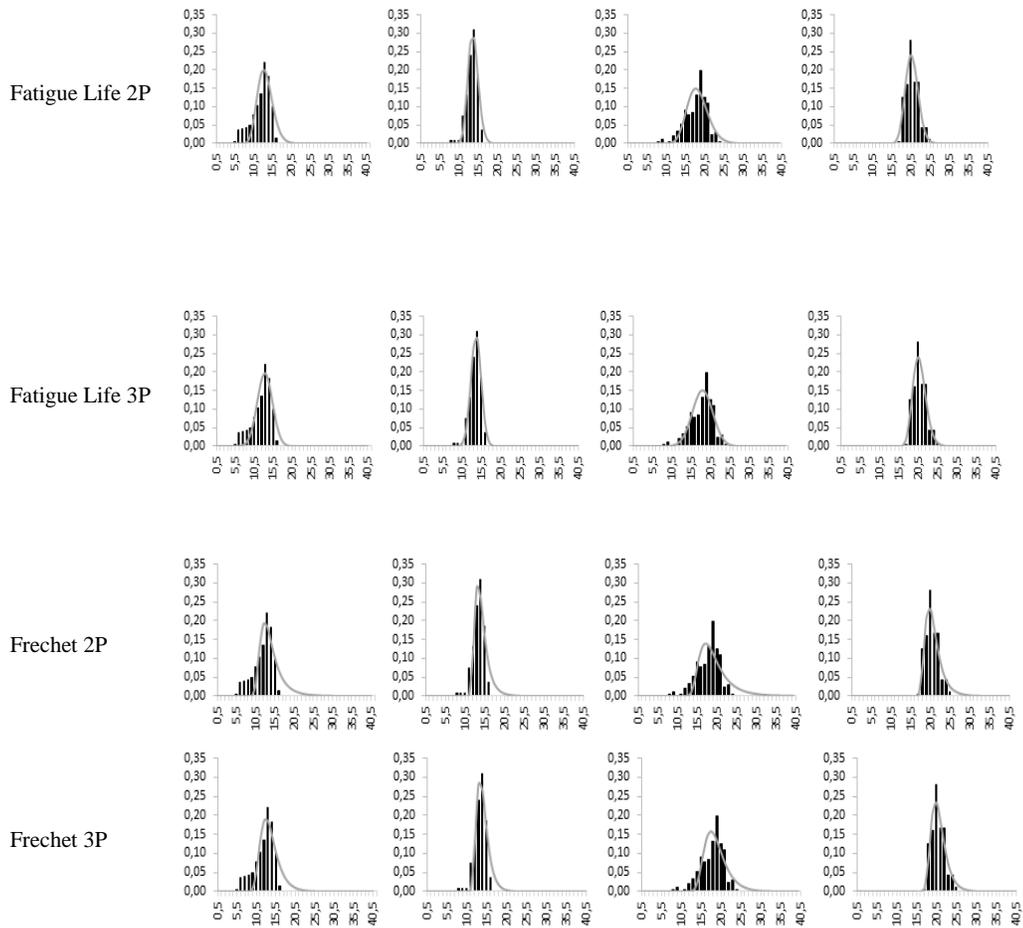


Figura 1 - (Continuação) Distribuição da probabilidade observada (barras) e valores estimados pelas fdps para povoamentos de eucalipto em diferentes idades (linha contínua). Os gráficos são apresentados em ordem cronológica, da esquerda para a direita, representando as seguintes idades (em meses): 58, 61, 136 e 157. (Continua).

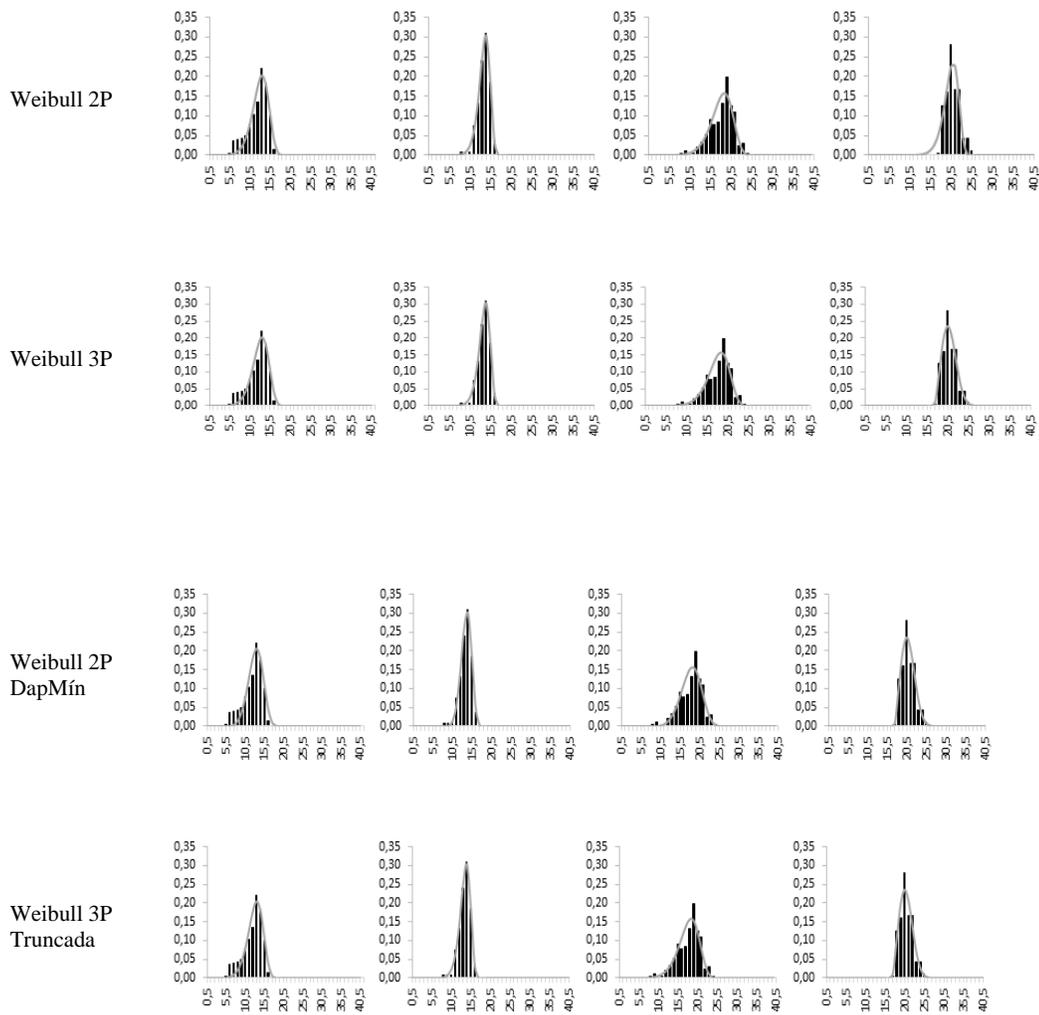


Figura 1 - (Continuação) Distribuição da probabilidade observada (barras) e valores estimados pelas fdps para povoamentos de eucalipto em diferentes idades (linha contínua). Os gráficos são apresentados em ordem cronológica, da esquerda para a direita, representando as seguintes idades (em meses): 58, 61, 136 e 157. (Continua).

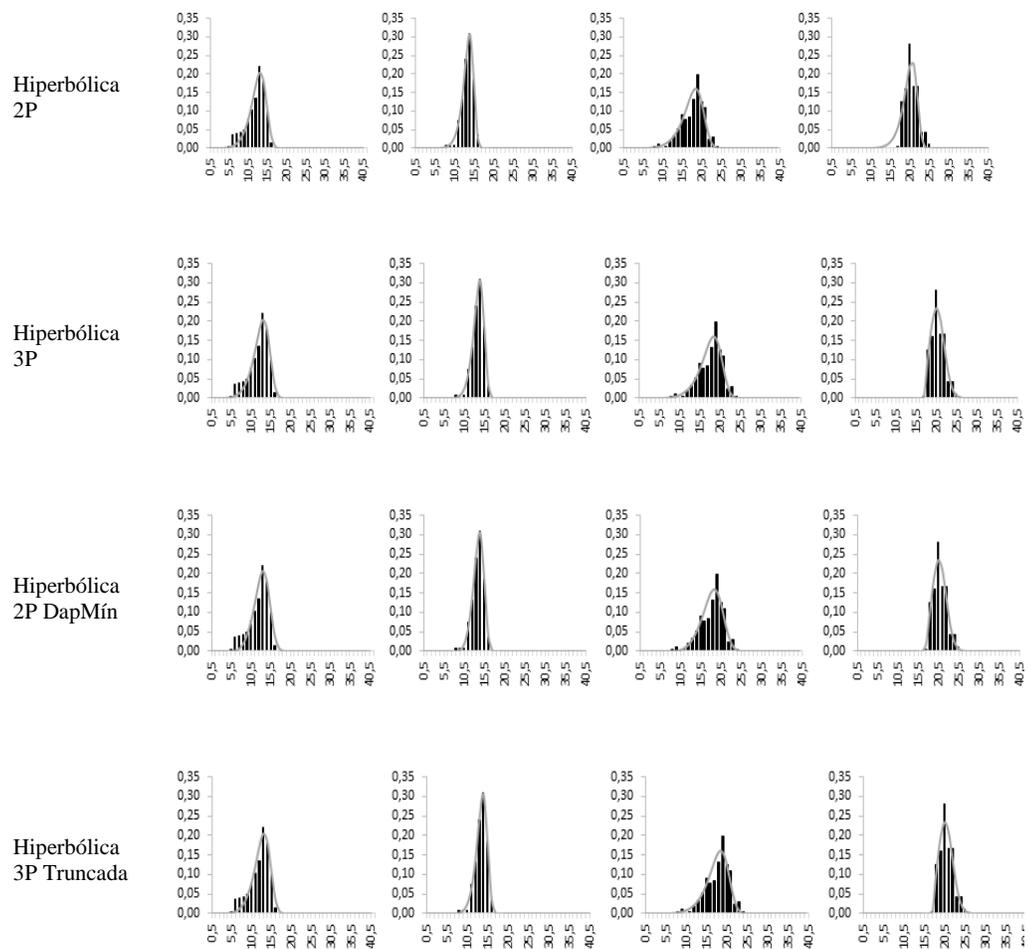


Figura 1 - (Continuação) Distribuição da probabilidade observada (barras) e valores estimados pelas fdps para povoamentos de eucalipto em diferentes idades (linha contínua). Os gráficos são apresentados em ordem cronológica, da esquerda para a direita, representando as seguintes idades (em meses): 58, 61, 136 e 157.

Tabela 2 - Correlação entre características do povoamento e os parâmetros das funções ajustadas

Função	Parâmetro	DAP	DAP	Diâmetro	Número	Idade
Weibull (2P)	α	0,671	0,557	0,651	-0,703	0,602
	β	0,847	0,985	0,997	-0,868	0,961
Weibull (3P)	α	-0,568	-0,462	-0,489	0,506	-0,462
	β	-0,538	-0,298	-0,371	0,509	-0,323
	γ	0,823	0,729	0,787	-0,813	0,734
Weibull (2P) DapMín	α	-0,673	-0,310	-0,335	0,320	-0,363
	β	-0,657	-0,147	-0,242	0,388	-0,235
	γ	0,984	0,823	0,882	-0,858	0,851
Weibull (3P) Truncada	α	-0,548	-0,440	-0,467	0,475	-0,444
	β	-0,518	-0,275	-0,349	0,480	-0,305
	γ	0,821	0,730	0,788	-0,806	0,737
Hiperbólica (2P)	α	0,652	0,535	0,628	-0,676	0,583
	β	0,838	0,987	0,995	-0,858	0,961
Hiperbólica (3P)	α	-0,303	-0,236	-0,234	0,284	-0,206
	β	-0,544	-0,302	-0,373	0,554	-0,309
	γ	0,830	0,743	0,796	-0,846	0,733
Hiperbólica (2P) DapMín	α	-0,673	-0,311	-0,336	0,321	-0,363
	β	-0,648	-0,134	-0,233	0,388	-0,223
	γ	0,984	0,823	0,882	-0,858	0,851
Hiperbólica (3P) Truncada	α	-0,392	-0,288	-0,298	0,347	-0,269
	β	-0,545	-0,291	-0,366	0,543	-0,304
	γ	0,838	0,748	0,804	-0,846	0,743
Log-Logística (2P)	α	0,759	0,636	0,736	-0,796	0,679
	β	0,849	0,983	0,998	-0,870	0,960
Log-Logística (3P)	α	-0,189	-0,140	-0,135	-0,051	-0,196
	β	-0,261	0,012	-0,060	0,070	-0,087
	γ	0,721	0,593	0,658	-0,586	0,655
Log-Logística (2P) DapMín	α	-0,654	-0,293	-0,317	0,301	-0,347
	β	-0,669	-0,165	-0,258	0,400	-0,251
	γ	0,984	0,823	0,882	-0,858	0,851
Logística Generalizada (3P)	α	0,779	0,666	0,729	-0,810	0,682
	β	-0,361	-0,024	-0,162	0,472	-0,094
	γ	0,860	0,981	1,000	-0,885	0,960
Fatigue Life (2P)	α	-0,789	-0,687	-0,780	0,902	-0,706
	β	0,850	0,983	0,998	-0,871	0,960
Fatigue Life (3P)	α	0,682	0,556	0,612	-0,555	0,605
	β	-0,550	-0,467	-0,518	0,677	-0,453
	γ	0,550	0,467	0,518	-0,677	0,454
Frechet (2P)	α	0,757	0,634	0,733	-0,792	0,675
	β	0,852	0,980	0,998	-0,874	0,959
Frechet (3P)	α	-0,029	-0,010	-0,023	0,029	-0,020
	β	-0,036	0,010	-0,012	0,033	-0,002
	γ	0,036	-0,010	0,012	-0,033	0,002