

FUNÇÕES DE DENSIDADE PROBABILÍSTICA NA DESCRIÇÃO DIAMÉTRICA DE FUSTES DO BIOMA AMAZÔNIA EM PORTO VELHO, RONDÔNIA

Ruana Aretha Farias Santiago Beckman, Vanessa Elisbão da Silva, Rafael Gomes Leão, Luiz Flávio Nunes Costa, Maria Vitória Alexandrina Ferreira, Caroline Junqueira Sartori, Bruno Oliveira Lafetá

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais / Departamento de Engenharia Florestal, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro - 39705-000 - São João Evangelista-MG, Brasil, ruanaarethabeckman@gmail.com, vaanessael@gmail.com, rafaelgomeessps2018@gmail.com, luiz.flavionunes02@gmail.com, vitoriaa.ferreira84@gmail.com, caroline.sartori@ifmg.edu.br, bruno.lafeta@ifmg.edu.br.

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes funções de densidade probabilística para modelar a distribuição diamétrica de fustes em área de domínio amazônico no município de Porto Velho-RO. A amostragem consistiu na distribuição sistemática de 26 conglomerados com quatro subunidades retangulares (20 × 100 m) e perpendiculares em relação ao seu ponto central, em forma de cruz de Malta; a distância entre as subunidades e o ponto central foi de 50m. Os dados de diâmetro foram agrupados em classes com intervalos regulares de 5 cm. Avaliaram-se as funções Weibull, Logística e Cauchy. As funções ajustadas apresentaram poucos desvios. Entretanto, a função Cauchy apresentou o melhor desempenho preditivo, com menores valores da raiz quadrada do erro médio e do critério de informação da Akaike, além do maior coeficiente de correlação. Conclui-se que a função Cauchy se mostrou adequada para a estimativa da distribuição de diâmetros de fustes no domínio amazônico em estudo.

Palavras-chave: Distribuição diamétrica. Estrutura. Modelagem. Precisão.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônômica / Engenharia Florestal.

Introdução

O domínio Amazônico representa cerca de um terço das florestas tropicais do mundo e possui uma vasta riqueza de espécies (Cruz *et al.*, 2021). Estima-se que mais de 350 espécies sejam extraídas e comercializadas no setor de madeira serrada na Amazônia (Cruz *et al.*, 2021; Veríssimo; Pereira, 2014). A compreensão da sua estrutura lenhosa é fundamental para o planejamento de estratégias conservacionistas e/ou aplicadas ao manejo florestal sustentável.

A distribuição diamétrica lenhosa é caracterizada pelo agrupamento de fustes em classes de tamanho, importante para análises de padrões de crescimento e gestão de múltiplos produtos madeireiros. A descrição dessa estrutura é frequentemente realizada por meio de Funções de Densidade Probabilística (FDP), que permitem obter estimativas da probabilidade de fustes ocorrerem dentro de determinados intervalos de diâmetro (Araújo Júnior *et al.*, 2013; Campos; Leite, 2017; Lafetá *et al.*, 2018).

Devido às características intrínsecas de cada sítio florestal, é necessário que as FDP sejam devidamente ajustadas e selecionadas, a fim de identificar aquelas que proporcionem maior consistência na descrição do comportamento da variável de interesse. Diversas funções se encontram disponíveis na literatura florestal, como Weibull, Logística, Cauchy, Gama, Beta e Normal (Campos; Leite, 2017).

Deste modo, o presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de diferentes funções de densidade probabilística para modelar a distribuição diamétrica de fustes em área de domínio amazônico no município de Porto Velho-RO.

Metodologia

Os dados biométricos foram provenientes do Inventário Florestal Nacional realizado em região de planície no município de Porto Velho-RO, disponibilizados gratuitamente pelo Sistema Nacional de Informações Florestais (SFB, 2024). A região se encontra em área do bioma Amazônia e possui clima do tipo Am pela classificação do sistema internacional de Köppen. As médias anuais de precipitação e temperatura são de 2.216 mm e 26,1 °C, respectivamente (Climate-Data.Org, 2024).

O inventário foi coordenado pelo Serviço Florestal Brasileiro e consistiu na distribuição sistemática de 26 conglomerados com quatro subunidades retangulares (20 × 100 m) e perpendiculares em relação ao seu ponto central, em forma de cruz de Malta; a distância entre as subunidades e o ponto central foi de 50m. Detalhes sobre a metodologia de amostragem podem ser encontrados em SFB (2024). Todos os fustes dos indivíduos lenhosos com diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP, cm) igual ou superior a 10,0 cm foram mensurados usando fita diamétrica. Os dados foram agrupados em classes biométricas com intervalos regulares de 5 cm de diâmetro. As funções testadas para a modelagem da distribuição de diâmetros foram: Weibull de 2 parâmetros (Weibull 2P); Logística de dois parâmetros (Logística 2P) e Cauchy. Todas as funções foram ajustadas pelo método da máxima verossimilhança. As FDP estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Funções de densidade de probabilidade testadas para a modelagem da distribuição de diâmetros do fuste em área do bioma Amazônia no município de Porto Velho, Rondônia.

Nome	Função densidade de probabilidade
Weibull 2P	$f(x) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma}}$
Logística 2P	$f(x) = \frac{e^{\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}}{\beta \left[1 + e^{\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}\right]^2}$
Cauchy	$f(x) = \frac{1}{\pi\beta \left[1 + \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^2\right]}$

x = centro de classe biométrica, $x \geq 0$; α = parâmetro de locação, $\alpha > 0$; β = parâmetro de escala, $\beta > 0$; γ = parâmetro de forma, $\gamma > 0$; e = constante neperiana; e $\pi = 3,14159265359...$

Fonte: os autores.

A qualidade dos ajustes foi avaliada de acordo com os valores da Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM), coeficiente de correlação de Pearson ($r_{Y\hat{Y}}$) e critério de informação de Akaike (Akaike Information Criterion, AIC). Baixos valores de RQEM e AIC, além de altos valores de $r_{Y\hat{Y}}$, implicam em melhor qualidade preditiva. Complementarmente, realizou-se a análise gráfica entre valores observados e estimados pelas equações obtidas.

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software 4.4.1 (R Core Team, 2024), ao nível de significância de 5,0%.

Resultados

A amostragem contemplou 4.715 fustes. O menor e maior DAP encontrados foram de 10,0 e 191,0 cm, respectivamente. Observou-se que a primeira classe diamétrica com amplitude de 5 cm apresentou 1.860 fustes e totalizou 39,45% da população amostrada. Ocorreram 1.018 fustes na segunda classe, o que correspondeu a 21,59 % da amostra.

Os ajustes das funções apresentaram poucos desvios, com baixos valores de RQEM (Tabela 2). Entretanto, a função Cauchy apresentou o melhor desempenho preditivo, com menor valor de RQEM e AIC, além do maior coeficiente de correlação ($p \leq 0,05$).

Tabela 2 - Coeficientes e qualidade de ajuste das funções densidade de probabilidade testadas para a estimativa da frequência relativa de fustes em domínio amazônico no município de Porto Velho, Rondônia

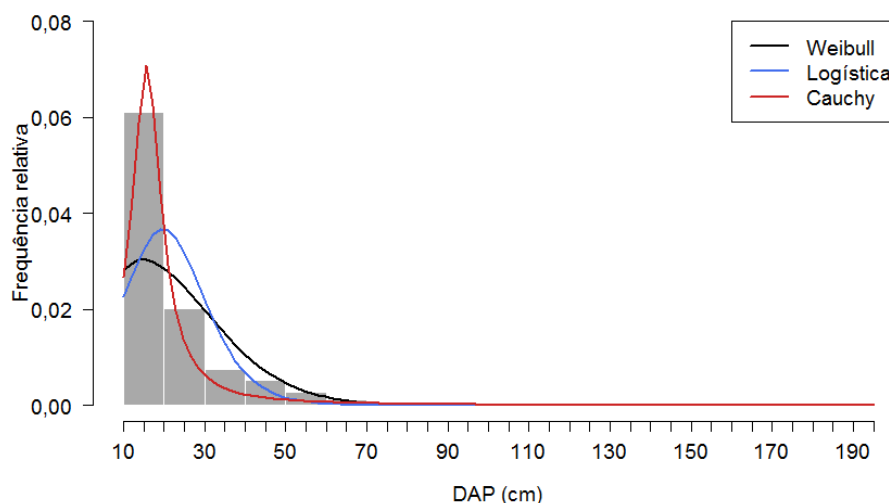
Funções	Coeficientes		RQEM	$r_{Y\hat{Y}}$	AIC
Weibull 2P	$\gamma=1,6795$	$\beta=25,5765$	361,5769	0,8504*	36827
Logística 2P	$\alpha=119,8453$	$\beta=6,7981$	359,4557	0,7990*	37518
Cauchy	$\alpha=15,7475$	$\beta=4,4846$	343,2552	0,9049*	36303

RQEM = raiz quadrada do erro médio; $r_{Y\hat{Y}}$ = coeficiente de correlação de Pearson e; AIC = critério de informação de Akaike. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste t .

Fonte: os autores

A distribuição de diâmetro dos fustes amostrados no domínio amazônico estudado exibiu tendência exponencial negativa contínua (com fustes em todas as classes de diâmetro), gerando um gráfico cuja curva se assemelhou à forma “J” invertido (Figura 1).

Figura 1 - Frequência relativa diamétrica observada e estimada pelas funções densidade de probabilidade testadas para uma área de domínio amazônico no município de Porto Velho, Rondônia.



Fonte: os autores.

Discussão

A precisão na estimativa da distribuição de diâmetros de uma formação lenhosa depende da qualidade da parametrização das funções de densidade probabilística (Lafetá *et al.*, 2018). As funções testadas demonstraram potencial para descrever a estrutura dos dados coletados (Tabela 2). Entretanto, notou-se perda de precisão da estimativa da frequência de fustes em classes biométricas menores, principalmente, pelas funções Weibull 2P e Logística. Estas funções subestimaram a quantidade de fustes nas classes menores (de 10 a 20 cm).

A análise gráfica proporcionou clareza na avaliação das distribuições de diâmetro estimadas pelas funções testadas. A Figura 1 mostrou que a função de Cauchy representou melhor os dados em classes menores de tamanho, enquanto a função logística apresentou um desempenho superior nas classes biométricas intermediárias.

A tendência de decréscimo da quantidade de fustes com o aumento das classes de diâmetro na forma de J-invertido está em consonância com o esperado para florestas inequidâneas (Campos; Leite, 2017). A maior frequência de fustes em classes menores de diâmetro representou a estrutura regenerante da vegetação, informação essencial para a adoção de práticas sustentáveis baseadas na análise do tempo de passagem para o manejo de recursos madeireiros (Souza; Soares, 2013). Contudo, o planejamento de eventuais colheitas de material lenhoso deve ser vistas com bastante cautela e conduzida de forma racional e em conformidade com a legislação ambiental vigente.

Conclusão

A função Cauchy se mostrou adequada para a estimativa da distribuição de diâmetros de fustes em domínio amazônico no município de Porto Velho, Rondônia.

Referências

ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; LEITE, H. G.; CASTRO, R. V. O.; BINOTI, D. H. B.; ALCÂNTARA, A. E. M.; BINOTI, M. L. M. S. Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto utilizando a função gama. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 307-314, 2013.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 5. ed. Viçosa: UFV. 2017. 636p.

CLIMATE-DATA.ORG. Clima: São João Evangelista. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rondonia/porto-velho-3120/>>. Acesso em: 01 ago. 2024.

CRUZ, L. L.; NAKAJIMA, N. Y.; SILVA, R. M.; HOSOKAWA, R. T.; JARDIM, F. C. S.; CORTE, A. P. D. Distribuição diamétrica de três espécies de Lecythidaceae após exploração de impacto reduzido na Amazônia Oriental. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 1, p. 171-190, 2021.

LAFETÁ, B. O.; RODRIGUES, R.; PENIDO, T. M A.; LAGE, P. Modeling of hypsometric distribution of *Handroanthus heptaphyllus* seedlings in different containers. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 37, p. 1915-1923, 2018.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2024.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. Sistema nacional de informações florestais. Disponível em: <<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/inventario-florestal-nacional-ifn>>. Acesso em 1 ago. 2024.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas**: estrutura, dinâmica e manejo. Viçosa: UFV, 2013. 322 p.

VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. Produção na Amazônia Florestal: características, desafios e oportunidades. **Parcerias Estratégicas**, v. 19, n. 38, p. 13-44, 2014.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) pelo apoio logístico e estrutural para a realização do presente projeto.

Ao Serviço Florestal Brasileiro pela disponibilização gratuita dos dados do Inventário Florestal Nacional.