

ALGORITMOS DE OTIMIZAÇÃO E FUNÇÃO GAMA NA DESCRIÇÃO DIAMÉTRICA DE FUSTES SUPRIMIDOS NA AMAZÔNIA, PORTO VELHO-RO

Luiz Flávio Nunes Costa, Rafael Gomes Leão, Maria Vitória Alexandrina Ferreira, Pedro Henrique de Araújo Paula, Lucas Barros de Souza, 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, luiz.flavionunes02@gmail.com, rafaelgomessps2018@gmail.com, vitoriaa.ferreira84@gmail.com, pedrohenrique.asd38@gmail.com, lucas.souza@ifmg.edu.br, caroline.sartori@ifmg.edu.br, bruno.lafeta@ifmg.edu.br.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes algoritmos de otimização na modelagem da distribuição diamétrica de fustes suprimidos em área de domínio amazônico, no município de Porto Velho-RO, utilizando a função Gama. Os dados biométricos foram obtidos do Inventário Florestal Nacional realizado em região de planície do município. As informações de diâmetro foram agrupadas em classes biométricas com intervalos regulares de 5 cm. Para ajustar a função Gama pelo método da máxima verossimilhança, foram testados os algoritmos de otimização: NM – Nelder-Mead; BFGS – Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno; e SANN – Subsequent Artificial Neural Network. A função Gama associada a esses algoritmos estimou com precisão a distribuição diamétrica de fustes. O algoritmo BFGS apresentou desempenho preditivo um pouco superior ao NM e SANN, com menores desvios e maior coeficiente de correlação. Conclui-se que a função Gama, associada aos algoritmos de otimização NM, BFGS e SANN, estimou com acurácia a distribuição diamétrica de fustes em domínio amazônico, destacando-se o BFGS pela melhor qualidade preditiva.

Palavras-chave: Distribuição biométrica. Modelagem. Precisão.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônômica / Engenharia Florestal.

Introdução

A Amazônia é o maior bioma do Brasil, mundialmente discutido não apenas por sua vasta biodiversidade, mas também, pela exploração predatória de recursos florestais madeireiros e não madeireiros de alto valor comercial (Almeida *et al.*, 2021). O manejo florestal é de extrema importância para o bioma, porém a sustentabilidade depende, especialmente, do modo e a intensidade com que as florestas vêm sendo exploradas (Oliveira *et al.*, 2023).

A avaliação da estrutura diamétrica de florestas fornece subsídios para o monitoramento e definição de práticas de manejo sustentável (Souza; Soares, 2013). Contudo, a precisão de estimativas da distribuição de diâmetros é fundamental para a administração racional do estoque madeireiro.

Os modelos para o estudo da distribuição diamétrica baseiam-se em Funções de Densidade Probabilística (FDP), que estimam a frequência de fustes em diferentes classes de diâmetro. Nesse contexto, destaca-se a função Gama, por sua relativa simplicidade de ajuste e flexibilidade para representar distribuições com diferentes assimetrias e formatos (Araújo Júnior *et al.*, 2013; Campos; Leite, 2017).

A definição do algoritmo de otimização para a parametrização de FDP por sua vez, é uma etapa importante para o emprego do método da máxima verossimilhança. Os algoritmos de otimização mais conhecidos são: Nelder-Mead, Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno e Subsequent Artificial Neural Network, todos disponíveis no pacote “fitdistrplus” (Delignette-Muller; Dutang, 2015) do software R (R Core Team, 2024).

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho de diferentes algoritmos de otimização para modelar a distribuição diamétrica de fustes suprimidos em área de domínio amazônico no município de Porto Velho-RO, empregando a função Gama.

Metodologia

Os dados 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 domínio florestal amazônico 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 identificados como suprimidos (estrato vertical inferior) e 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. Para ajuste da função Gama pelo método da máxima verossimilhança, foram testados os seguintes algoritmos de otimização: NM – Nelder-Mead; BFGS – Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno e; SANN – Subsequent Artificial Neural Network.

Função de densidade probabilística – Gama:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x^{\gamma-1} e^{-x/\beta}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}, & 0 < x < \infty \\ 0, & \text{para outros valores de } x \end{cases}$$

Em que: x = centro de classe biométrica, $x \geq 0$; β = parâmetro de taxa, $\beta > 0$; γ = parâmetro de forma, $\gamma > 0$; $\Gamma(\gamma)$ = função gama do parâmetro γ , $\gamma > 0$; e = constante neperiana.

Um conjunto de estatísticas foi utilizado para a avaliação da qualidade de ajuste, assim discriminadas: Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM), coeficiente de correlação de Pearson ($r_{\gamma\hat{\gamma}}$) e critério de informação de Akaike (Akaike Information Criterion, AIC). Menores valores de RQEM e AIC implicam em melhor qualidade preditiva.

O teste de Kolmogorov-Smirnov (Gibbons; Subhabrata, 1992) foi aplicado para análise de aderência das funções aos dados observados. A análise gráfica contemplou a relação entre valores observados e estimados pelas equações obtidas.

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R versão 4.4.1 (R Core Team, 2024), ao nível de significância de 1,0%.

Resultados

No inventário florestal, foram encontrados 1.541 fustes abaixo do dossel com 10,0 a 76,0 cm de DAP. Assumindo classes biométricas com intervalos regulares de 5 cm de diâmetro, verificou-se que a primeira classe conteve 67,94% (1.047 fustes) do total amostrado. A classe biométrica subsequente, de 10 a 15 cm, teve 21,87% da amostra.

As equações obtidas para a estimativa da distribuição de diâmetros dos fustes (Tabela 1) exibiram altos coeficientes de correlação ($r_{\gamma\hat{\gamma}} > 0,92$). Estes coeficientes foram estatisticamente significativos ($p \leq 0,01$). Todas as funções ajustadas exibiram aderência aos dados observados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,01$), com valor da estatística d_n de 0,12. No que se refere aos coeficientes e qualidade de ajuste, as diferenças absolutas entre os algoritmos de otimização se expressaram em centésimos. O algoritmo BFGS apresentou desempenho preditivo um pouco superior ao NM e SAAN, com menor valor de RQEM, além do maior coeficiente de correlação.

Tabela 1 - Coeficientes e qualidade de ajuste da função Gama para a descrição diamétrica de fustes em domínio amazônico no município de Porto Velho-RO, empregando os algoritmos de otimização Nelder-Mead (NM), Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) e Subsequent Artificial Neural Network (SANN)

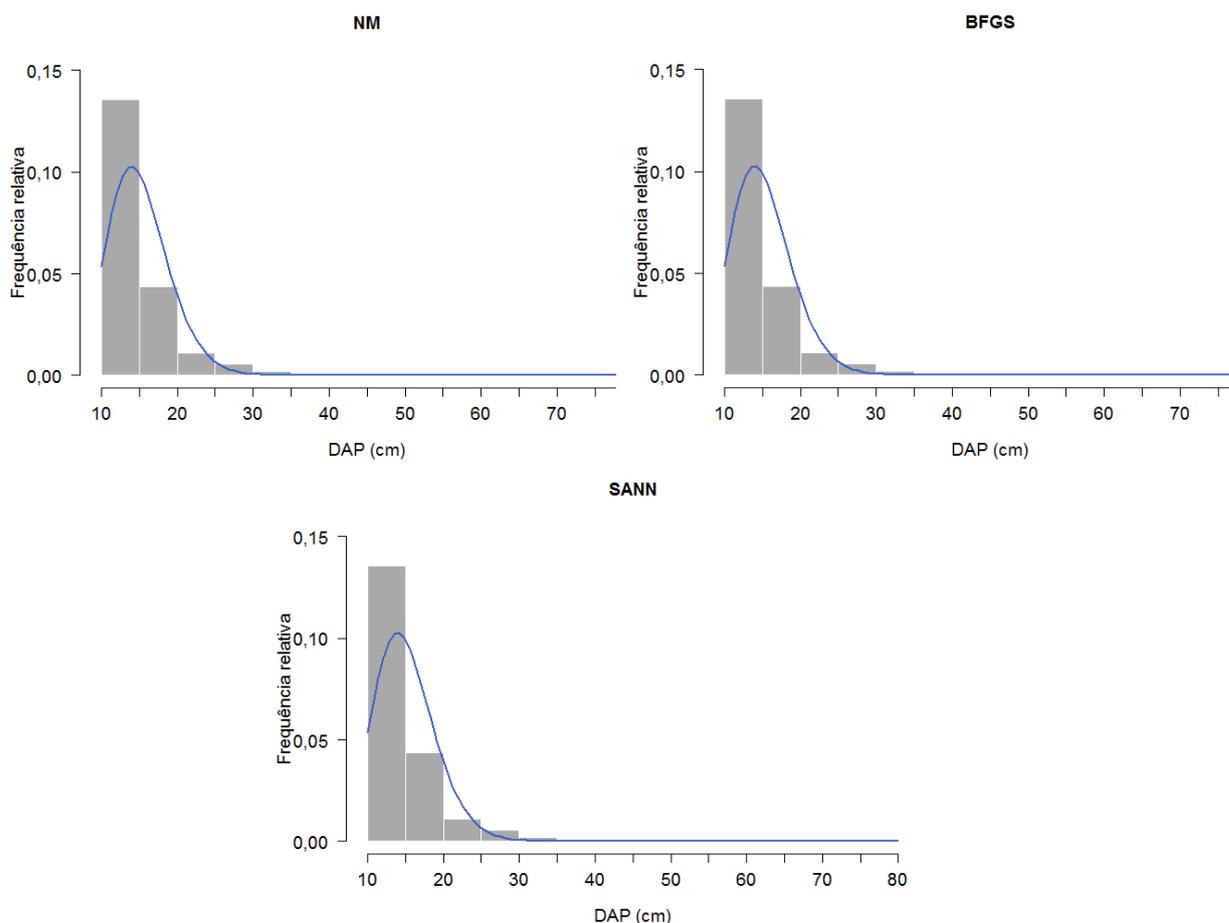
Algoritmo de otimização	Coeficientes		RQEM	$r_{Y\hat{Y}}$	AIC
	Forma	Taxa			
NM	14,0899	0,9380	310,4328	0,927330**	8.576
BFGS	14,0916	0,9381	310,4308	0,927331**	8.576
SANN	14,0708	0,9366	310,4381	0,927167**	8.576

RQEM = raiz quadrada do erro médio; $r_{Y\hat{Y}}$ = coeficiente de correlação de Pearson e; AIC = critério de informação de Akaike. **significativo a 1% de probabilidade pelo teste t .

Fonte: os autores

A tendência exponencial negativa contínua (com presença de indivíduos em todas as classes de diâmetro) foi evidenciada na distribuição de diâmetro dos fustes suprimidos na área de domínio amazônico em estudo, gerando um gráfico que se assemelhou à curva do “J” invertido (Figura 1).

Figura 1- Frequência relativa diamétrica observada e estimada pela função Gama em domínio amazônico no município de Porto Velho-RO, empregando os algoritmos de otimização Nelder-Mead (NM), Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) e Subsequent Artificial Neural Network (SANN)



Fonte: os autores.

Discussão

A seleção da metodologia para a parametrização de funções de densidade probabilística determina a precisão da modelagem de uma distribuição de frequências. A avaliação do ajuste dessas funções deve considerar interpretações de natureza qualitativa (realismo biológico) e quantitativa (estatística) (Lafetá *et al.*, 2018). Para tanto, a FDP Gama foi adequada para as estimativas da frequência de fustes em diferentes classes de diâmetro no domínio amazônico em estudo, apresentando aderência da função à estrutura dos dados (frequências esperadas e observadas foram similares sob ponto de vista estatístico).

A variedade do tamanho diamétrico de fustes contribuiu para a diversidade estrutural da floresta, essencial para a resiliência e sustentabilidade a longo prazo. A tendência de decréscimo da quantidade de fustes com o aumento das classes de diâmetro seguiu um padrão na forma de J-invertido, conforme esperado para florestas inequidistantes (Souza; Soares, 2013; Campos; Leite, 2017). A concentração mais alta de fustes nas classes de menor diâmetro indicou que o fragmento possui uma estrutura regenerante com potencial para ingressar em classes de maior tamanho.

Estimativas confiáveis da estrutura biométrica são imprescindíveis para a assertividade de decisões tomadas por gestores florestais. A qualidade preditiva com a utilização do algoritmo BFGS se mostrou um pouco superior aos demais algoritmos de otimização, com potencial para a estimativa da distribuição diamétrica. Este fato possui grande relevância para a análise de inventários florestais, pois demonstra que a modelagem biométrica pode ser mais precisa diante de uma criteriosa seleção do algoritmo de otimização. Enfatiza-se que as dificuldades em se ajustar distribuições diamétricas têm sido solucionadas em virtude de avanços da informática e técnicas estatísticas, tornando os ajustes cada vez mais simples e facilitando a seleção dos melhores algoritmos de otimização.

Conclusão

A função Gama associada aos algoritmos de otimização Nelder-Mead, BFGS e SANN estimaram com precisão a distribuição diamétrica de fustes em domínio amazônico no município de Porto Velho-RO, com destaque para o algoritmo BFGS, que apresentou qualidade preditiva um pouco superior aos demais.

Referências

ALMEIDA, B. R. S.; MELO, L. O.; CRUZ, G. S.; MELO, M. S.; SANTOS, M. F.; NICOLETTI, M. F.; RIBEIRO, R. B. S. Índices de produtividade em uma área de manejo florestal comunitário na Amazônia brasileira. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n.1, p. 1271-1278, 2021.

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.

DELIGNETTE-MULLER, M.L., DUTANG, C. fitdistrplus: an R package for fitting distributions. **Journal of Statistical Software**, v. 64, n. 4, p. 1-34, 2015.

GIBBONS, J. D.; SUBHABRATA, C. **Nonparametric statistical inference**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, 1992. 544p.

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.

OLIVEIRA, W. D.; CARNEIRO, F. S.; BASSI, N. R.; OLIVEIRA, T. B.; OLIVEIRA, S. T. S.; CORDEIRO, D. F. J.; FRAZÃO, A. S.; PINHEIRO, K. A. O. Análise dos riscos e prevenções da cubagem de espécies florestais da Amazônia Oriental Brasileira. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 3, e22812338504, 2023.

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.

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.