

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

ALGORITMOS DE OTIMIZAÇÃO E FUNÇÃO LOGÍSTICA NA DESCRIÇÃO DO DIÂMETRO DE FUSTES EM UM FRAGMENTO DE MATA ATLÂNTICA

Luís Henrique de Andrade Guimaraes, Carlos Henrique Lopes Ribeiro, Paulo
Sergio Soares Lima, Erik Brian dos Santos, Bruno Oliveira Lafetá, Valéria
Santos Cavalcante

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,
andraderick2010@gmail.com, carloshenriquelopes1486@gmail.com, paulosergio14620@gmail.com,
erikbrian365@gmail.com, bruno.lafeta@ifmg.edu.br, valeria.cavalcante@ifmg.edu.br.

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes algoritmos de otimização para modelar a distribuição diamétrica de fustes em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal, empregando a função Logística de dois parâmetros. A coleta dos dados foi realizada em nove parcelas de 20 × 20 m (400 m²), no município de São João Evangelista-MG. Os dados foram agrupados em classes biométricas com intervalos regulares de 5 cm de diâmetro. Foram testados três algoritmos de otimização. Todos os ajustes realizados apresentaram aderência pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. As diferenças preditivas entre os algoritmos se expressaram em centésimos. O algoritmo SANN apresentou o menor valor de RQEM, além do maior coeficiente de correlação. Concluiu-se que a função Logística associada aos algoritmos de otimização Nelder-Mead, BFGS e SANN estimaram com precisão a distribuição diamétrica de fustes do fragmento de Mata Atlântica, com destaque para o algoritmo SANN, que apresentou qualidade preditiva um pouco superior aos demais.

Palavras-chave: Distribuição biométrica. Modelagem. Precisão.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônômica / Engenharia Florestal

Introdução

O estudo da estrutura e dinâmica das florestas desempenha um papel crucial na gestão sustentável dos recursos naturais. O diâmetro é um atributo biométrico convencionalmente mensurado em inventários florestais, utilizado como variável independente em diversos modelos de crescimento e produção madeireira, definindo padrões de uso da árvore. Essa medida é fundamental para definir padrões de uso da árvore e avaliar a saúde e vitalidade da floresta.

A distribuição diamétrica se baseia no agrupamento de fustes em classes de diâmetro ou intervalos de tamanho (GOMES *et al.*, 2022). Tal distribuição fornece informações úteis sobre a estrutura regenerante lenhosa e eventual necessidade de reposição florestal, importante para o manejo de povoamentos inequidanos (OLIVEIRA *et al.*, 2020; FEITOSA *et al.*, 2023).

Diversas funções de densidade probabilística têm sido testadas para descrever a distribuição diamétrica de formações lenhosas, porém, ainda, são poucas pesquisas sobre a definição de algoritmos de otimização. No pacote “fitdistrplus” (DELIGNETTE-MULLER; DUTANG, 2015) do software R, comando “fitdist”, são encontrados três algoritmos de otimização identificados por Nelder-Mead, Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno e Subsequent Artificial Neural Network. Todavia, somente o algoritmo Nelder-Mead tem sido exaustivamente adotado no setor florestal para descrever distribuições diamétricas (CAMPOS; LEITE, 2017).

Mediante exposto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho de diferentes algoritmos de otimização para modelar a distribuição diamétrica de fustes em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal, empregando a função Logística de dois parâmetros.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Metodologia

Os dados foram provenientes de um fragmento de Mata Atlântica no município de São João Evangelista-MG, em área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, nas coordenadas de 18°33'5,05" Sul e 42°45'50,40" de longitude Oeste (Datum Sirgas 2000). O fragmento possui 2,53 ha e se encontra em fase de recuperação florestal desde novembro de 2013. A região possui clima do tipo Cwa pela classificação do sistema internacional de Köppen. As médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.377 mm e 20,2 °C, respectivamente (INMET, 2023).

O inventário florestal foi realizado aos 80 meses após início do processo de recuperação do fragmento. A amostragem contemplou o lançamento de 9 parcelas quadradas de 20 × 20 m (400 m²). Todos os fustes dos indivíduos arbóreos com circunferência a 1,30 m de altura do solo (CAP, cm) igual ou superior a 10,0 cm foram mensurados usando fita métrica.

Empregou-se a razão entre CAP e o valor de π (3,141592654...) para o cálculo do diâmetro à 1,30 m de altura do solo (DAP, cm). Os dados foram agrupados em classes biométricas com intervalos regulares de 5 cm de diâmetro, valor tradicionalmente empregado em pesquisas sobre a Mata Atlântica. O agrupamento de fustes em classes de tamanho é um procedimento de rotina florestal aplicado para ajustes de funções densidade de probabilidade estatística e estimativas de frequências. Para ajuste da função Logística de dois parâmetros 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 densidade de probabilidade – Logística 2P:

$$f(x) = \frac{e^{\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}}{\beta \left[1 + e^{\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}\right]^2}$$

Em que: x = centro de classe biométrica, $x \geq 0$; α = parâmetro de locação, $\alpha > 0$; β = parâmetro de escala, $\beta > 0$; e e = constante neperiana.

Um conjunto de estatísticas foi utilizada para a avaliação da qualidade de ajuste, assim discriminadas: Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM), coeficiente de correlação de Pearson (r_{YY}) 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 4.1.3 (R CORE TEAM, 2022), ao nível de significância de 1,0%.

Resultados

No inventário florestal, foram encontrados 167 fustes com 5,03 a 28,52 cm de DAP. Assumindo classes biométricas com intervalos regulares de 5 cm de diâmetro, verificou-se que a primeira classe conteve 67,07% (112 fustes) do total amostrado. A classe biométrica subsequente, de 10 a 15 cm, teve 23,35% da amostra.

As equações obtidas para a estimativa da distribuição de diâmetros dos fustes do fragmento exibiram baixos valores de RQEM e altos coeficientes de correlação (acima de 0,95). 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 dn de 0,4. No que se refere aos coeficientes e qualidade de ajuste, as diferenças absolutas entre os algoritmos de otimização se expressaram em centésimos. Neste sentido, o algoritmo SANN apresentou desempenho preditivo um pouco superior ao NM e BFGS, com menor valor de RQEM, além do maior coeficiente de correlação.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Tabela 1 - Coeficientes e qualidade de ajuste da função Logística de dois parâmetros empregando os algoritmos de otimização Nelder-Mead (NM), Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) e Subsequent Artificial Neural Network (SANN)

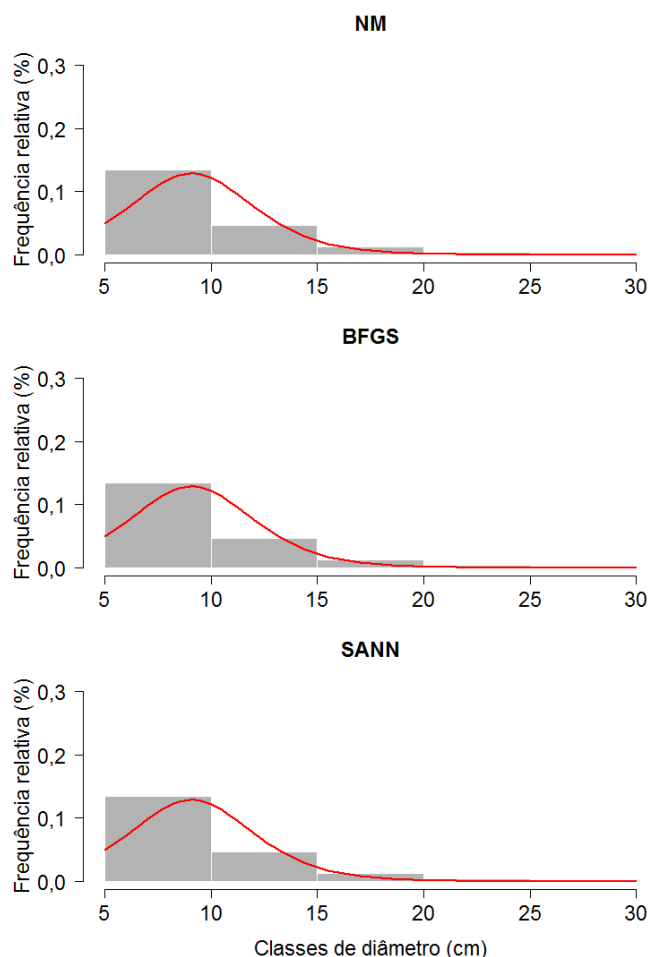
Algoritmo de otimização	Coeficientes		RQEM	$r_{Y\hat{Y}}$	AIC
	Localção	Escala			
NM	9,0827	1,9441	0,263678	0,965795**	905
BFGS	9,0829	1,9441	0,263680	0,965775**	905
SANN	9,0767	1,9454	0,263661	0,966180**	905

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 do fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal em estudo, gerando um gráfico que se assemelhou à curva do “J” invertido (Figura 1).

Figura 1- Frequência relativa observada e estimada pela função Logística de dois parâmetros empregando os algoritmos de otimização Nelder-Mead (NM), Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) e Subsequent Artificial Neural Network (SANN)



A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Fonte: os autores.

Discussão

A escolha do procedimento metodológico para a modelagem de distribuições determina a precisão das estimativas. A avaliação de modelos de distribuição biométrica deve considerar interpretações de natureza qualitativa (realismo biológico) e quantitativa (estatística) (LAFETÁ *et al.*, 2018). Para tanto, a f.d.p. Logística de dois parâmetros foi adequada para as estimativas da frequência de fustes em diferentes classes de diâmetro no fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal em estudo, apresentando aderência da função à estrutura dos dados (frequências esperadas e observadas foram similares sob ponto de vista estatístico). O decréscimo da quantidade de fustes com o aumento das classes de diâmetro foi evidenciado na forma de J-invertido, que é o previsto para florestas inequianes (LIMA; LEÃO, 2013; SCHAAF *et al.*, 2006). A maior concentração de fustes nas menores classes diamétricas é um indicativo de que o fragmento possui uma estrutura regenerante com potencial ingresso em classes maiores de tamanho, importante para o planejamento de estratégias de conservação e/ou exploração racional de recursos florestais madeireiros ou não.

A precisão de estimativas é fundamental para a assertividade de decisões tomadas por gestores florestais e, por menor que sejam, os ganhos em qualidade preditiva são necessários para quantificação de recursos e melhor planejamento de uso das formações lenhosas. O algoritmo de otimização SANN tem sido o mais recomendado para área florestal (CAMPOS; LEITE, 2017), porém todos os algoritmos de otimização testados podem ser indicados para a estimativa da distribuição diamétrica de fustes. 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 (LANA *et al.*, 2013).

A qualidade preditiva com a utilização do algoritmo SANN se mostrou um pouco superior aos demais algoritmos de otimização, com potencial para a estimativa da distribuição diamétrica de fustes. 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. Os resultados obtidos contribuem para o desenvolvimento de futuras pesquisas sobre a modelagem biométrica vegetal e manejo florestal sustentável.

Conclusão

A função Logística de dois parâmetros associada aos algoritmos de otimização Nelder-Mead, BFGS e SANN estimaram com precisão a distribuição diamétrica de fustes do fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal, com destaque para o algoritmo SANN, que apresentou qualidade preditiva um pouco superior aos demais.

Referências

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

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.

FEITOSA, R.; PUJALS, A.; KAWAKITA, K.; PASTORINI, L.; ROMAGNOLO, M. Forest dynamics in a remnant of the Atlantic Forest in the extreme North of the state of Paraná, Brazil: Dinâmica florestal em um remanescente de Mata Atlântica no extremo Norte do estado do Paraná, Brasil. **Concilium**, v. 23, n. 14, p. 166-183, 2023.

GIBBONS, J.D.; SUBHABRATA, C. **Nonparametric statistical inference**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, 1992. 544p. (Statistics: Textbook and Monograph, 31).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

GOMES, M. D. S.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; RETSLAFF, F. A. D. S.; LANSSANOVA, L. R. Estratégias de projeção da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 902-922, 2022.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. (2021). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 01 ago. 2023.

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.

LIMA, J. P. C.; LEÃO, J. R. A. Dinâmica de crescimento e distribuição diamétrica de fragmentos de florestas nativa e plantada na Amazônia Sul Ocidental. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 70-79, 2013.

OLIVEIRA, A. L. D.; BORGES, L. A. C.; COELHO JUNIOR, M. G.; BARROS, D. A. D.; COELHO JUNIOR, L. M. Forest replacement in Brazil: a fundamental policy for forestry. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 4, e20180021, 2020.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2022.

SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; GALVÃO, F.; SANQUETTA, C. R. Alteração na estrutura diamétrica de uma floresta ombrófila mista no período entre 1979 e 2000. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 283-295, 2006.

Agradecimentos

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