



FUNÇÃO LOG-LOGÍSTICA E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA A MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE FUSTES COM CIPÓ EM FRAGMENTO DE MATA ATLÂNTICA

Maria Vitória Alexandrina Ferreira ¹; Ana Flávia Silva Sousa ²; Luiz Flávio Nunes Costa ³; Ivan da Costa Ilhéu Fontan ⁴; Valeria Santos Cavalcante ⁵; Bruno Oliveira Lafetá ⁶

1 Maria Vitória Alexandrina Ferreira, Bolsista IFMG, Engenharia Florestal, IFMG Campus São João Evangelista, São João Evangelista – MG; vitoriaa.ferreira84@gmail.com

2 Ana Flávia Silva Sousa, Engenharia Florestal, IFMG, São João Evangelista – MG

3 Luiz Flávio Nunes Costa, Engenharia Florestal, IFMG, São João Evangelista – MG

4 Ivan da Costa Ilhéu Fontan, Pesquisador do IFMG, Campus São João Evangelista; ivan.fontan@ifmg.edu.br

5 Valeria Santos Cavalcante, Pesquisadora do IFMG, Campus São João Evangelista; valeria.cavalcante@ifmg.edu.br

6 Orientador: Bruno Oliveira Lafetá, Pesquisador do IFMG, Campus São João Evangelista; bruno.lafeta@ifmg.edu.br

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o uso da função Log-Logística associada ao algoritmo de otimização Sann para a modelagem da distribuição diamétrica de fustes com cipó em um fragmento de Mata Atlântica, sob recuperação florestal. O fragmento possui 2,53 ha e se encontra em fase de recuperação florestal desde novembro de 2013. O tipo de solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com o horizonte A proeminente e a 690 m de altitude. O inventário florestal contemplou o lançamento de 10 parcelas experimentais de 20 × 20 m (400 m²), equivalente a uma intensidade amostral de 15,81%. Todos os fustes dos indivíduos arbóreos com circunferência a 1,30 m de altura do solo (CAP, cm) igual ou superior a 15,71 cm foram mensurados usando fita métrica, sendo calculado o respectivo diâmetro (DAP, cm) pela razão entre CAP e o valor de π (3,141592654...). Os fustes inventariados foram caracterizados conforme a ausência (Classe I) e presença de cipó (Classe II). Para cada uma dessas classes, ajustou-se a função densidade de probabilidade Log-logística de dois parâmetros pelo método da máxima verossimilhança, com auxílio do algoritmo de otimização Subsequent Artificial Neural Network (SANN). A amostragem contemplou um total de 200 fustes (DAP de 5,03 a 30,24 cm) com ausência de cipó e 135 fustes (DAP de 5,06 a 24,76 cm) com a presença de cipó. A distribuição de diâmetro dos fustes exibiu a forma de “J” invertido, com maior frequência de indivíduos em sua estrutura regenerante. Mais fustes de maiores dimensões foram encontrados nas árvores com ausência de cipó. Contudo, a presença de cipó foi observada com mais frequência naqueles fustes pertencentes à estrutura regenerante do fragmento. Conclui-se que a presença de cipós compromete o crescimento de fustes no fragmento de Mata Atlântica em estudo. A função Log-Logística associada ao algoritmo de otimização SANN é uma estratégia estatística promissora para a modelagem da distribuição biométrica de formações lenhosas.

PALAVRAS CHAVE: Algoritmo de otimização; Floresta; Função de densidade probabilística; Inteligência artificial.



INTRODUÇÃO:

A conservação de florestas tropicais é um dos maiores desafios ecológicos da atualidade, especialmente diante da intensificação de mudanças do clima. Informações que relacionam a presença de cipós com a biometria de árvores hospedeiras são necessárias para a definição de técnicas que promovam a recomposição vegetal e manejo florestal sustentável.

A avaliação da estrutura diamétrica de fustes subsidia a compreensão do grau de degradação de formações lenhosas, evidenciando o equilíbrio ou eventuais desequilíbrios em uma comunidade florestal (MEYER et al., 1952). Vegetações naturais balanceadas apresentam distribuições de frequência diamétrica que se assemelham a um “J” invertido (CAMPOS; LEITE, 2017).

A estrutura diamétrica pode ser matematicamente representada por meio do ajuste de funções de densidade probabilidade (FDP), que exprime a estimativa da frequência de fustes dentro de determinados intervalos de tamanho (MACHADO et al., 2009). A modelagem de distribuições biométricas tem se destacado cada vez em virtude de sua contribuição para o planejamento da produção de madeira serrada. Funções logarítmicas são exemplos bastante difundidos na modelagem de distribuições biométricas no setor florestal e estão disponíveis nos pacotes “actuar” (DUTANG et al., 2008) e “fitdistrplus” (DELIGNETTE-MULLER; DUTANG, 2015) do software R (R CORE TEAM, 2024).

Na busca de estratégias apropriadas para o manejo de ecossistemas naturais, com fins conservacionistas ou sustentavelmente exploratórios, definiu-se o projeto de pesquisa “Distribuições diamétrica e hipsométrica de fustes com cipós em um fragmento de Mata Atlântica”, contemplado no Edital 69/2023 do IFMG – Linha B. Mediante exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o uso da função Log-Logística associada ao algoritmo de otimização Subsequent Artificial Neural Network (SANN) para a modelagem da distribuição diamétrica de fustes com cipó em um fragmento de Mata Atlântica, sob recuperação florestal.

METODOLOGIA:

A pesquisa foi conduzida em 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). A região possui clima do tipo Cwa pela classificação do sistema internacional de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média anual é de 21,2°C e a precipitação média anual de 1.000 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2024).

O fragmento possui 2,53 ha e se encontra em fase de recuperação florestal desde novembro de 2013. O tipo de solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com o horizonte A proeminente e a 690 m de altitude.

O inventário florestal contemplou o lançamento de 10 parcelas experimentais contíguas de 20 × 20 m (400 m²), equivalente a uma intensidade amostral de 15,81%. Todos os fustes dos indivíduos arbóreos com circunferência a 1,30 m de altura do solo (CAP, cm) igual ou superior a 15,71 cm foram mensurados usando fita métrica, sendo calculado o respectivo diâmetro (DAP, cm) pela razão entre CAP e o valor de π (3,141592654...).

Os indivíduos inventariados foram caracterizados conforme a ausência (Classe I) e presença de cipó (Classe II). Para cada uma dessas classes, ajustou-se a função densidade de probabilidade Log-logística de 2 parâmetros (Log-Logística 2P) pelo método da máxima verossimilhança, com auxílio do algoritmo de otimização SANN.

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

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

Calcularam-se os valores da 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). A aderência das funções aos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (GIBBONS; SUBHABRATA, 1992). Trata-se de um teste que compara a frequência acumulativa estimada com a frequência observada. O ponto de maior divergência entre as distribuições é o valor da estatística de teste (dn). Complementarmente, realizou-se a análise gráfica entre valores 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:

A amostragem contemplou um total de 200 fustes (DAP de 5,03 a 30,24 cm) com ausência de cipó e 135 fustes (DAP de 5,06 a 24,76 cm) com a presença de cipó. Os ajustes das funções apresentaram poucos desvios, com baixos valores de RQEM e AIC (Tabela 1). Os coeficientes de correlação foram altos (acima de 0,95) para a distribuição de diâmetros dos fustes. A significância ($p \leq 0,01$) dos coeficientes de correlação foi constatada em todos os ajustes. Todos os ajustes realizados apresentaram aderência pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,01$).

Tabela 1. Coeficientes e qualidade de ajuste da função Log-Logística 2P para a estimativa da frequência relativa de fustes (sem e com cipó) em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal.

Cipó	Coeficientes		RQEM	$r_{\gamma\hat{\gamma}}$	AIC	KS (p)
Classe I – Ausência	$\beta = 10,314448$	$\gamma = 3,937589$	0,0933	0,9693*	1179	0,1678
Classe II – Presença	$\beta = 8,987167$	$\gamma = 3,538087$	0,1093	0,9650*	792	0,2827

β = parâmetro de escala; γ = parâmetro de forma; RQEM = raiz quadrada do erro médio; $r_{\gamma\hat{\gamma}}$ = coeficiente de correlação de Pearson; AIC = critério de informação de Akaike e; KS = teste de Kolmogorov-Smirnov. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste t .

A distribuição de diâmetro dos fustes do fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal estudado exibiu a forma de “J” invertido (Figuras 1 e 2), com maior frequência de indivíduos em sua estrutura regenerante. Mais fustes de maiores dimensões foram encontrados nas árvores com ausência de cipó. Todavia, a presença de cipó foi observada com mais frequência naqueles fustes pertencentes à estrutura regenerante do fragmento.

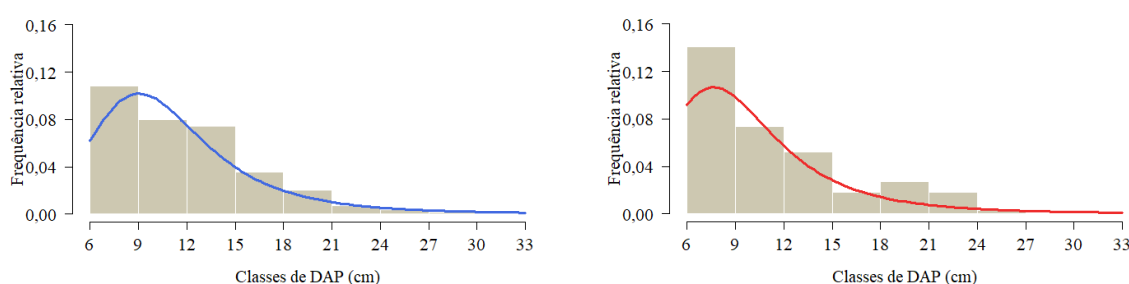


Figura 1. Frequência relativa de fustes (sem cipó à esquerda e com cipó à direita), estimada pela função Log-Logística 2P com auxílio do algoritmo de otimização Subsequent Artificial Neural Network, para um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal.

DISCUSSÕES:

A precisão de estimativas de frequência requer uma adequada aderência da função de densidade probabilística à estrutura de dados biométricos (LAFETÁ et al., 2018). A função Log-Logística 2P demonstrou potencial para descrever a distribuição diamétrica dos fustes no fragmento de Mata Atlântica em estudo (Tabela 1). É conveniente ressaltar que as funções logarítmicas são caracterizadas pela flexibilidade em descrever distribuições com diferentes graus de assimetria, como aquela em formato de “J” invertido observada neste trabalho.

O decréscimo da quantidade de fustes com o aumento das classes de diâmetro está condizente com o esperado para formações lenhosas naturais ou inequiduais (CAMPOS; LEITE, 2017). A maior concentração de fustes em classes menores de diâmetro refletiu a estrutura regenerante do fragmento, importante para o planejamento de práticas conservacionistas e manejo sustentável aplicado a produtos florestais madeireiros e/ou não madeireiros.

A análise gráfica permitiu maior discernimento no julgamento das distribuições de diâmetro estimadas pelos ajustes da função Log-Logística 2P. Quando analisada os gráficos da Figura 1, observou-se claras diferenças de comportamento entre as distribuições diamétricas dos fustes com a presença e ausência de cipó. É provável que a presença de cipós tenha comprometido o crescimento lenhoso, restringindo o acesso de fustes à radiação luminosa (TAIZ et al., 2017). Essa hipótese é corroborada pela maior frequência de fustes em classes de diâmetro maiores quando os cipós estão ausentes.

Entender a influência dos cipós no crescimento das árvores e na regeneração florestal permite desenvolver práticas de manejo que favoreçam tanto a produtividade lenhosa quanto a diversidade ecológica. Os resultados apresentados fornecem informações úteis para o estabelecimento de práticas silviculturais apropriadas para a administração racional de povoamentos inequiduais, como o manejo de cipós. Enfatiza-se que a manutenção de cipós tem sido uma prática imprescindível para múltiplas



finalidades, como: minimização do efeito competitivo sobre árvores de interesse ecológico e comercial; redução dos riscos de acidentes provenientes do entrelaçamento de copas em eventuais cortes arbóreos ou quedas naturais; e prevenção da abertura de grandes clareiras, o que compromete a regeneração natural.

CONCLUSÕES:

A presença de cipós compromete o crescimento de fustes no fragmento de Mata Atlântica em estudo. A função Log-Logística de dois parâmetros associada ao algoritmo de otimização Subsequent Artificial Neural Network é uma estratégia estatística promissora para a modelagem da distribuição biométrica de formações lenhosas.

REFERÊNCIAS:

- 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/minas-gerais/sao-joao-evangelista-175926/>>. Acesso em: 11 nov. 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.
- DUTANG, C.; GOULET, V.; PIGEON, M. **actuar**: An R package for actuarial science. **Journal of Statistical Software**, v. 25, p. 1-37, 2008.
- GIBBONS, J.D.; SUBHABRATA, C. **Nonparametric statistical inference**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, 1992. 544p. (Statistics: Textbook and Monograph, 31).
- 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.
- MEYER, H. A. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. **Journal of Forestry**, n. 52, v. 2, p. 85-92, 1952.
- R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2022.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 2017. 888p.