

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA.
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Carlos Henrique Lopes Ribeiro

**DISTRIBUIÇÕES DIAMÉTRICA E HIPSOMÉTRICA DE FUSTES COM CIPÓS EM
UM FRAGMENTO DE MATA ATLÂNTICA**

São João Evangelista

2023

CARLOS HENRIQUE LOPES RIBEIRO

**DISTRIBUIÇÕES DIAMÉTRICA E HIPSOMÉTRICA DE FUSTES COM CIPÓS EM
UM FRAGMENTO DE MATA ATLÂNTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso Bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Bruno Oliveira Lafetá

São João Evangelista

2023

R484d Ribeiro, Carlos Henrique Lopes.
Distribuições diamétrica e hipsométrica de fustes com cipós em
um fragmento de mata atlântica / Carlos Henrique Lopes Ribeiro –
2024.
24f.: il.

Orientador: Dr. Bruno Oliveira Lafetá.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Engenharia
Florestal) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João
Evangelista, 2024.

1. Altura. 2. Cipó. 3. Diâmetro. 4. Função de densidade
probabilística. I. Ribeiro, Carlos Henrique Lopes. II. Instituto Federal
de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 634.9285


Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/MG-003371/P

Carlos Henrique Lopes Ribeiro

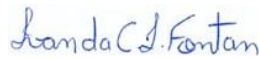
**DISTRIBUIÇÕES DIAMÉTRICA E HIPSOMÉTRICA DE FUSTES COM CIPÓS
EM UM FRAGMENTO DE MATA ATLÂNTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista para obtenção do grau de bacharela em Engenharia Florestal.

Aprovado em: 05 / 12 / 2023 pela banca examinadora:



Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá - IFMG (Orientador)



Prof. Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan - IFMG

Documento assinado digitalmente



LUIS CARLOS DA SILVA SOARES

Data: 13/12/2023 14:14:31-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Luis Carlos da Silva Soares - UFLA



Prof. Dr. Diego dos Santos Vieira - UFVJM

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as distribuições do diâmetro e altura de fustes em um fragmento de Mata Atlântica, na presença e ausência de cipó. O estudo foi conduzido em uma área de 2,53 ha, onde se realizou o inventário com intensidade amostral de 15,81%. Os fustes foram caracterizados em relação a presença ou ausência de cipós. Avaliaram-se 6 funções para modelagem da distribuição biométrica dos fustes pelo método da máxima verossimilhança. Os menores valores de AIC e BIC foram encontrados nos ajustes das funções Log-normal e Weibull 2P para a modelagem das distribuições diamétrica e hipsométrica, respectivamente. Os fustes com a presença de cipó tenderam apresentar menores dimensões do que aqueles com ausência de cipós. Conclui-se que as funções de densidade probabilística Log-normal e Weibull 2P se mostraram promissoras para as modelagens das distribuições diamétricas e hipsométricas de fustes, respectivamente. No fragmento em estudo, as distribuições diamétricas possuem a forma de “J-invertido” e aquelas hipsométricas, maior densidade de fustes em classes intermediárias de tamanho. As distribuições biométricas dos fustes com a presença de cipó tende mais à assimetria e à variabilidade do que aquelas diante da ausência de cipó.

Palavras-chave: altura; cipó; diâmetro; função de densidade probabilística.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the diameter and height distributions of tree stems in an Atlantic Forest fragment, in the presence and absence of vines. The study was conducted in an area of 2.53 hectares, where an inventory was carried out with a sampling intensity of 15.81%. Stems were characterized in terms to the presence or absence of vines. Six functions were evaluated for modeling the biometric distribution of the stems using maximum likelihood method. The lowest AIC and BIC values of were found in the adjustments of the Log-normal and Weibull 2P functions for modeling the diametric and hypsometric distributions, respectively. The stems with presence of vines tended to have smaller dimensions than those without vines. It is concluded that the Log-normal and Weibull 2P probability density functions showed promise for modeling the diameter and height distributions of stems, respectively. In the studied fragment, diameter distributions exhibit a “J-inverted” form, while height distributions have a higher density of stems in intermediate size classes. Biometric distributions of stems with vine presence tend to be more asymmetric and variability compared to those in the absence of vines.

Keywords: height; vine; diameter; probability density function.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 7 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 9 |
| 2.1 Caracterização da área de estudo..... | 9 |
| 2.2 Descrição dos dados e análise estatística..... | 9 |
| 3 RESULTADOS | 11 |
| 4 DISCUSSÃO | 15 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 18 |
| REFERÊNCIAS | 19 |

1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são ecossistemas compostos por mosaicos de fases estruturais dinâmicos, que oferecem um conjunto de serviços ambientais e econômicos passíveis de aproveitamento direto ou indireto pela sociedade (HEIJDEN *et al.*, 2022; LAFETÁ *et al.*, 2023b). Contudo, a fragmentação de ecossistemas e outras perturbações antrópicas têm contribuído para a expansão e intensificação de cipós (BECKNELL *et al.*, 2022; SMITH-MARTIN *et al.*, 2022; WAITE *et al.*, 2022; COMINI *et al.*, 2023; PUTZ *et al.*, 2023). O conhecimento das interações entre cipós e árvores hospedeiras é imprescindível para a compreensão da estruturação de formação lenhosa e definição de estratégias conservacionistas e de manejo florestal sustentável.

Os cipós compõem um grupo diversificado e polifilético de plantas lenhosas que utilizam árvores adjacentes como suporte estrutural para o alcance de dosséis, onde desdobram sua folhagem acima da árvore hospedeira (ESTRADA-VILLEGAS *et al.*, 2022). Cipós competem intensamente acima do solo por radiação luminosa e abaixo do solo por água e nutrientes (ESTRADA-VILLEGAS *et al.*, 2022; MEDINA-VEJA *et al.*, 2022b; WAITE *et al.*, 2022; COMINI *et al.*, 2023). Normalmente, árvores que hospedam cipós reduzem a captação líquida de carbono, acúmulo de biomassa e quantidade de carboidratos produzidos e alocados em flores ou frutos, comprometendo a fecundidade, sobrevivência e recrutamento de novos indivíduos (ESTRADA-VILLEGAS *et al.*, 2022; HEIJDEN *et al.*, 2022; SMITH-MARTIN *et al.*, 2022; PUTZ *et al.*, 2023). Pesquisas relatam reduções de até 20% do índice de área foliar arbóreo (RODRÍGUEZ-RONDEROS *et al.*, 2016; ESTRADA-VILLEGAS *et al.*, 2020; ESTRADA-VILLEGAS *et al.*, 2022).

O aumento na abundância e tamanho de cipós tem sido mais proeminente em condições de secas sazonais (SMITH-MARTIN *et al.*, 2022), como é o caso de Florestas Estacionais Semidecíduais de Mata Atlântica. Essas plantas trepadeiras desenvolvem sistemas radiculares profundos e/ou laterais eficientes na manutenção da integridade hidráulica durante períodos de estiagem (MEDINA-VEJA *et al.*, 2022b). Além do mais, possuem notável eficiência na condutância estomática, trocas gasosas e uso da água em relação às espécies arbóreas coexistentes no ecossistema (LIU *et al.*, 2022; MEDINA-VEJA *et al.*, 2022b; SMITH-MARTIN *et al.*, 2022). Isso confere aos cipós maior resistência e resiliência a distúrbios ambientais (BECKNELL *et al.*, 2022; COMINI *et al.*, 2023).

Investigações científicas que estudam a interação entre a presença de cipós e a biometria de árvores hospedeiras elucidam o entendimento de processos ecológicos subjacentes e a manutenção da comunidade vegetal. É comum a representação de amplos conjuntos de dados por meio de medidas generalistas de posição e dispersão, negligenciando informações relacionadas à respectiva distribuição (LAFETÁ *et al.*, 2018). Estimativas acuradas sobre a distribuição biométrica arbórea são fundamentais para o planejamento e administração assertiva de recursos florestais.

A distribuição biométrica é caracterizada pelo agrupamento de indivíduos em classes de tamanho, frequentemente estabelecida em escala diamétrica para estudos ecológicos e/ou de modelagem do crescimento e produção (HUNG, 2022; SEKÍ, 2022). Salienta-se que assim como o diâmetro, a altura também se constitui um atributo convencionalmente mensurado em inventários e sua distribuição permite o detalhamento da estrutura vertical da comunidade vegetal (SANTOS *et al.*, 2023). A abordagem mais usual na descrição de dados estruturais se baseia no ajuste de Funções de Densidade Probabilística (FDP). Diversas funções estão descritas na literatura florestal, como Normal, Log-normal, Logística, Log-logística, Johnson's SB, Gama, Beta, Exponencial, Hiperbólica e Weibull (CAMPOS; LEITE, 2017; LAFETÁ *et al.*, 2018; BRITO *et al.*, 2022; SEKÍ, 2022).

A escolha apropriada de uma FDP permite a obtenção de estimativas não enviesadas da frequência biométrica. O uso indiscriminado de FDP deve ser visto com bastante cautela, pois dificuldades relacionadas à inconsistência biológica são comuns durante o processamento estatístico e promovem decisões equivocadas na gestão dos recursos florestais. O padrão de decréscimo da quantidade de fustes com o aumento das classes de diâmetro na forma de “J-invertido” é o tradicionalmente esperado em florestas naturais cuja estrutura regenerante é capaz de sustentar uma comunidade vegetal equilibrada (SANTOS *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023).

Mediante exposto, as seguintes hipóteses foram testadas: I – A distribuição biométrica de fustes pode ser influenciada pela presença de cipós? II – O formato da distribuição diamétrica é similar àquela hipsométrica em formações de vegetação natural? O objetivo do presente trabalho foi avaliar as distribuições do diâmetro e altura de fustes em um fragmento de Mata Atlântica, na presença e ausência de cipós.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi conduzido em um fragmento de Mata Atlântica no município de São João Evangelista – MG, nas coordenadas de 18°33'5,05" Sul e 42°45'50,40" de longitude Oeste (Datum Sirgas 2000). O clima na região é classificado como Cwa (temperado chuvoso-mesotérmico) de acordo com o sistema internacional de Köppen, com verões chuvosos e invernos secos. A temperatura média anual é de 21,2°C e a precipitação média anual de 1.000 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2023).

O fragmento possui 2,53 ha e se encontra em fase de recuperação florestal passiva desde novembro de 2013, classificado em estágio inicial de regeneração segundo a Portaria 392 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2007). A vegetação original, caracterizada como formação Estacional Semidecidual, foi convertida para sucessivos monocultivos de *Coffea arabica* L. por período de aproximadamente 10 anos. Após a remoção dos indivíduos de *C. arabica*, o fragmento foi isolado para a condução da regeneração natural, mantendo-se conexão perimetral de 140 m com um fragmento adjacente de vegetação secundária (1,52 ha).

2.2 Descrição dos dados e análise estatística

O inventário florestal foi realizado aos 104 meses após início do processo de recuperação do fragmento. A amostragem contemplou o lançamento de 10 parcelas experimentais contíguas de 20 × 20 m (400 m²), equivalente a uma intensidade amostral de 15,81%. A definição dessas parcelas experimentais se baseou na representatividade das condições médias do interior do fragmento, previamente estabelecidas para o monitoramento contínuo e pesquisas relacionadas à análise da competitividade entre árvores (LAFETÁ, et al., 2023a; LAFETÁ, et al., 2023b).

Todos os fustes dos indivíduos arbóreos com circunferência a 1,30 m de altura do solo (CAP, cm) igual ou superior a 10 cm foram mensurados com auxílio de fita métrica e caracterizados conforme a ausência (Categoria I) e a presença de cipó (Categoria II). O diâmetro à 1,30 m de altura do solo (DAP, cm) foi calculado pela relação entre (CAP) e o valor de π (3,141592654...). A altura total dos fustes (H, m) foi obtida pelo método de superposição de ângulos iguais (SCOLFORO; THIERSCH, 2004). Os dados biométricos

foram submetidos à análise estatística descritiva (mínimo, média, mediana, máximo, coeficiente de variação e, pelo método dos momentos, assimetria e curtose) e ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Os dados foram agrupados em classes diamétricas com intervalos regulares de 3 cm de amplitude, e classes de altura com 2 m de amplitude, ambas determinadas com base na fórmula de Sturges (1926). Foram ajustados sete modelos de Função de Densidade Probabilística (FDP) (Tabela 1) para cada uma das categorias de ausência/presença de cipó, mediante a frequência de fustes em função do centro de classe de DAP (cm) e do centro de classe de altura (m). Todas as funções foram ajustadas pelo método da máxima verossimilhança, usando-se a metodologia de otimização de Nelder e Mead e o pacote `fitdistrplus` (DELIGNETTE-MULLER; DUTANG, 2015) do software R (R CORE TEAM, 2023).

Tabela 1. Funções de densidade probabilística para a modelagem das distribuições diamétricas e hipsométricas de fustes para um fragmento de Mata Atlântica em recuperação florestal.

| Nome | Função de densidade probabilística |
|---------------------|---|
| Weibull 2P | $f(x) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma}$ |
| Função Logística 2P | $f(x) = \frac{e^{\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}}{\beta \left[1 + e^{\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}\right]^2}$ |
| Log-logística 2P | $f(x) = \frac{\gamma \left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma}{x \left[1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma\right]^2}$ |
| Cauchy | $f(x) = \frac{1}{\pi\beta \left[1 + \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^2\right]}$ |
| Gama | $f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)}, 0 < x < \infty, \text{ para outros valores de } x$ |
| Log-normal | $f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ |

x = centro de classe biométrica, $x \geq 0$; α = parâmetro de locação, $\alpha > 0$; β = parâmetro de escala, $\beta > 0$; γ = parâmetro de forma, $\gamma > 0$; $\Gamma(\gamma)$ = função gama do parâmetro γ , $\gamma > 0$; μ = média (parâmetro locação); σ = desvio padrão (parâmetro escala); e = constante neperiana; e $\pi = 3,14159265359...$

A seleção da equação mais acurada se baseou nos critérios de informação de Akaike (Akaike Information Criterion, AIC) e bayesiano (Bayesian Information Criterion, BIC), calculados por meio do pacote *fitdistrplus* (DELIGNETTE-MULLER; DUTANG, 2015). Menores valores de AIC e BIC implicaram em melhor desempenho preditivo. A aderência das funções aos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (GIBBONS; SUBHABRATA, 1992). Complementarmente, realizou-se a análise gráfica entre as frequências relativas observadas e estimadas pelas equações obtidas.

Aplicou-se o teste de Wilcoxon para comparações biométricas (DAP e H) entre as categorias de ausência/presença de cipó. Para diagnóstico de efeito estatístico, foi adotado o nível de significância de 5% em todas as análises. Estas foram efetuadas com auxílio do software R (R CORE TEAM, 2023).

3 RESULTADOS

O inventário florestal contemplou 598 e 448 fustes ha^{-1} com ausência e presença de cipó em um total de 830 árvores ha^{-1} amostradas, respectivamente. A estatística descritiva dos dados biométricos se encontra discriminada na Tabela 2. Os fustes com a ausência de cipó apresentaram a maior amplitude de variação diamétrica (26,99 cm), porém a menor amplitude de variação hipsométrica (14,40 m). As distribuições biométricas dos fustes com a presença de cipó foram mais assimétricas do que aquelas relacionadas a ausência de cipó; todas as distribuições exibiram assimetria positiva, com cauda a direita. Todas as distribuições biométricas apontaram comportamento leptocúrtico (curtose positiva), com exceção da distribuição hipsométrica dos fustes sem cipós (curtose negativa). Os dados de diâmetro e altura não seguiram distribuição normal conforme teste de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$).

Tabela 2. Caracterização biométrica dos fustes de um Fragmento de Mata Atlântica aos 104 meses após início do processo de recuperação passiva.

| Estatísticas | Fustes com ausência de cipó | | Fustes com presença de cipó | |
|--------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| | DAP (cm) | H (m) | DAP (cm) | H (m) |
| Mínimo | 3,25 | 1,60 | 3,18 | 1,80 |
| Média | 10,10 | 7,72 | 8,79 | 6,82 |
| Mediana | 9,23 | 7,40 | 6,75 | 6,50 |
| Máximo | 30,24 | 16,00 | 24,76 | 17,00 |
| CV (%) | 51,25 | 43,42 | 57,99 | 45,57 |
| Assimetria | 1,06 | 0,36 | 1,27 | 0,70 |
| Curtose | 1,19 | -0,70 | 0,94 | 0,24 |
| W | 0,92* | 0,97* | 0,86* | 0,96* |

Assimetria e curtose calculados pelo método dos momentos; CV = coeficiente de variação; * significativo pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância; e W = Estatística de Shapiro-Wilk.

Verificou-se aderência das funções de densidade probabilística aos dados observados ($p > 0,05$); as médias das estatísticas dn do teste de Kolmogorov-Smirnov foram de $0,45 \pm 0,0545$ e $0,48 \pm 0,0547$ para as distribuições diamétricas e hipsométricas, respectivamente. Os menores valores de AIC foram encontrados nos ajustes das funções Log-normal para a modelagem da distribuição diamétrica (Tabela 3) e Weibull 2P para a modelagem da distribuição hipsométrica (Tabela 4).

Tabela 3. Estatísticas das funções de densidade probabilística para a distribuição diamétrica de fustes em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal.

| Funções | Coeficientes | | AIC |
|---|-------------------|-------------------|------|
| ----- Fustes com ausência de cipó ----- | | | |
| Weibull 2P | $\beta = 11,5119$ | $\gamma = 2,1022$ | 1427 |
| Logístico 2P | $\alpha = 9,6560$ | $\beta = 2,8912$ | 1463 |
| Log-logístico | $\beta = 8,9840$ | $\gamma = 3,3193$ | 1419 |
| Cauchy | $\alpha = 8,6730$ | $\beta = 3,1051$ | 1542 |
| Gama | $\beta = 0,4103$ | $\gamma = 4,1637$ | 1408 |
| Log-normal | $\mu = 2,1925$ | $\sigma = 0,5024$ | 1401 |
| ----- Fustes com presença de cipó ----- | | | |
| Weibull 2P | $\beta = 10,0048$ | $\gamma = 1,8853$ | 1045 |
| Logístico 2P | $\alpha = 8,0307$ | $\beta = 2,7314$ | 1085 |
| Log-logístico | $\beta = 7,3751$ | $\gamma = 3,2554$ | 1015 |
| Cauchy | $\alpha = 6,6363$ | $\beta = 2,4166$ | 1106 |

| | | | |
|------------|------------------|-------------------|------|
| Gama | $\beta = 0,4194$ | $\gamma = 3,6946$ | 1022 |
| Log-normal | $\mu = 2,0342$ | $\sigma = 0,5150$ | 1003 |

α = parâmetro de locação; β = parâmetro de escala; γ = parâmetro de forma; μ = média (parâmetro locação); σ = desvio padrão (parâmetro escala); MDA = média do desvios absolutos; AIC = critério de informação de Akaike.

Tabela 4. Estatísticas das funções de densidade probabilística para a distribuição hipsométrica de fustes em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal.

| Funções | Coeficientes | | AIC |
|---|-------------------|-------------------|------|
| ----- Fustes com ausência de cipó ----- | | | |
| Weibull 2P | $\beta = 9,0822$ | $\gamma = 2,4953$ | 1263 |
| Logístico 2P | $\alpha = 7,8850$ | $\beta = 2,0574$ | 1293 |
| Log-logístico | $\beta = 7,4425$ | $\gamma = 3,5619$ | 1289 |
| Cauchy | $\alpha = 7,5054$ | $\beta = 2,3316$ | 1392 |
| Gama | $\beta = 0,6011$ | $\gamma = 4,8311$ | 1267 |
| Normal | $\mu = 8,0377$ | $\sigma = 3,4850$ | 1279 |
| Log-normal | $\mu = 1,9772$ | $\sigma = 0,4861$ | 1283 |
| ----- Fustes com presença de cipó ----- | | | |
| Weibull 2P | $\beta = 7,8995$ | $\gamma = 2,3132$ | 916 |
| Logístico 2P | $\alpha = 6,8287$ | $\beta = 1,8305$ | 932 |
| Log-logístico | $\beta = 6,4365$ | $\gamma = 3,4050$ | 931 |
| Cauchy | $\alpha = 6,7557$ | $\beta = 1,9850$ | 996 |
| Gama | $\beta = 0,6178$ | $\gamma = 4,3176$ | 917 |
| Normal | $\mu = 6,9888$ | $\sigma = 3,2166$ | 930 |
| Log-normal | $\mu = 1,8241$ | $\sigma = 0,5215$ | 932 |

α = parâmetro de locação; β = parâmetro de escala; γ = parâmetro de forma; μ = média (parâmetro locação); σ = desvio padrão (parâmetro escala); MDA = média do desvios absolutos; AIC = critério de informação de Akaike.

As frequências de diâmetro e altura observadas não apresentaram descontinuidade (ausência de fustes em um ou mais classes biométricas; Figura 1), considerando os respectivos intervalos definidos pelos limites mínimo e máximo (Tabela 2). O padrão exponencial negativo (forma de “J-invertido”) foi mais claro nas distribuições diamétricas dos fustes. Face ao melhor desempenho preditivo, as funções Log-normal e Weibull 2P foram selecionadas para as análises de inspeção gráfica subsequentes (Figura 1). As curvas de distribuição biométrica dos fustes com ausência de cipó estiveram mais deslocadas para a direita (Figura 2), mostrando maiores medidas de tendência central (medianas de 43,81 cm de DAP e 6,5m de altura total). Pelo teste de Wilcoxon, esses valores de mediana foram

significativamente maiores em comparação aqueles referentes aos fustes que continham cipós ($p \leq 0,05$).

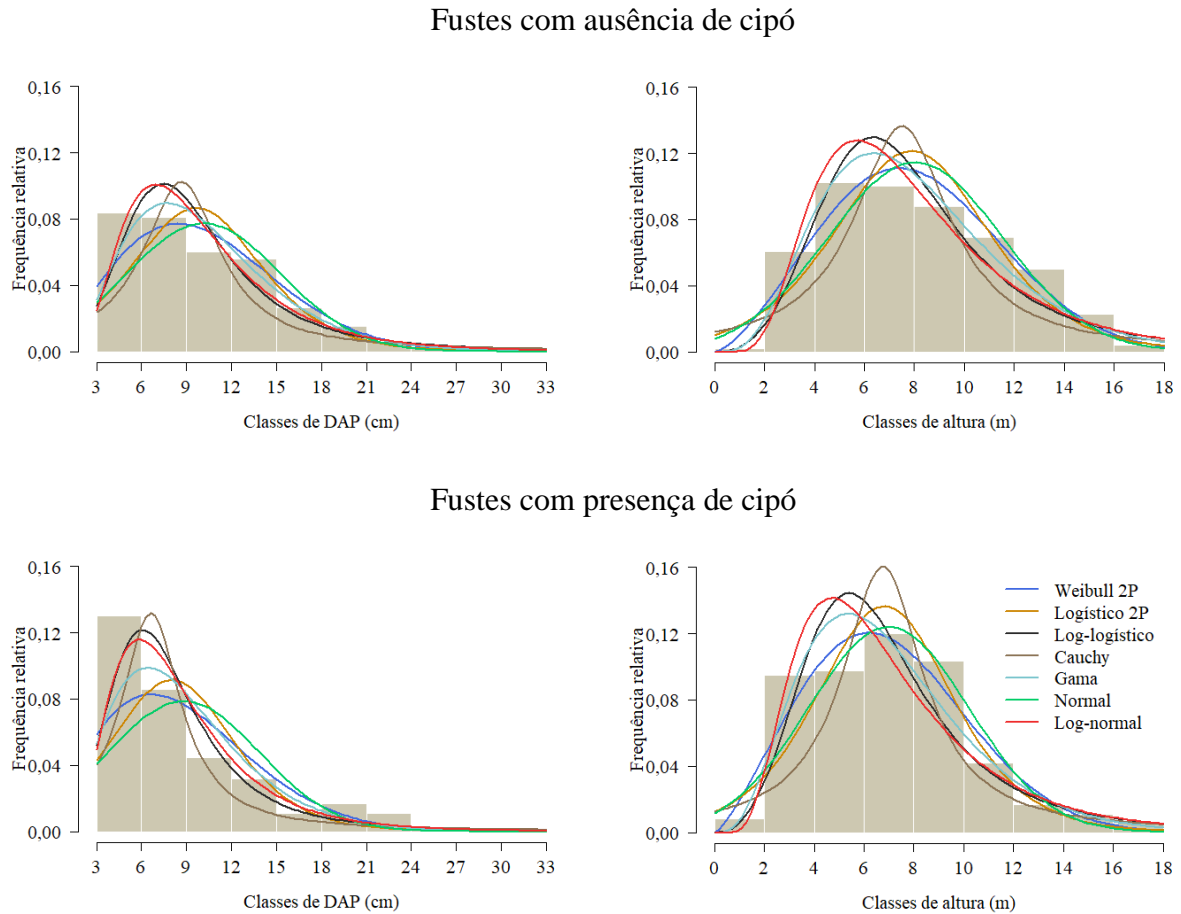


Figura 1. Frequências relativas observada e estimadas por diferentes funções de densidade probabilística para um fragmento de Mata Atlântica em recuperação florestal.

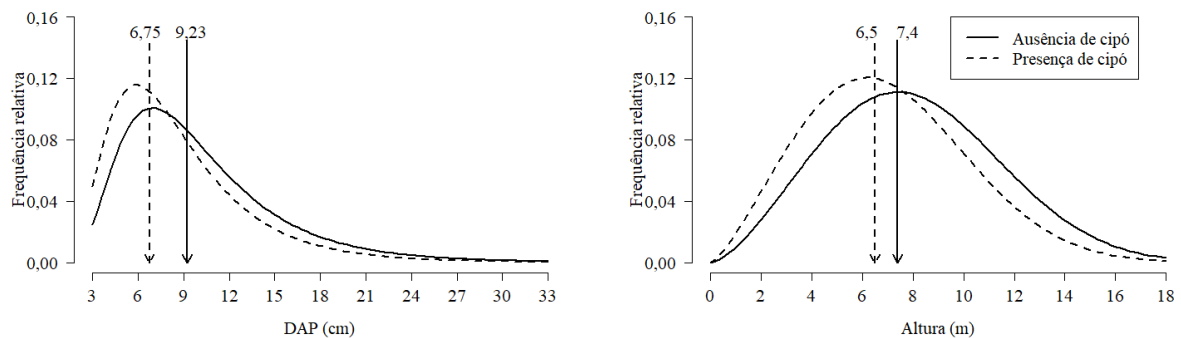


Figura 2. Estimativas de frequência relativa provenientes das funções Log-normal e Weibull 2P para a distribuição diamétrica e hipsométrica em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal, respectivamente. Setas identificam valores de mediana.

4 DISCUSSÃO

As médias aritméticas de diâmetro e altura dos fustes em relação aos valores medianos caracterizaram distribuições assimétricas positivas, corroborando com os próprios cálculos de assimetria pelo método dos momentos e ausência de normalidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de Shapiro-Wilk (Tabela 2). Enfatiza-se que esse comportamento assimétrico à direita foi resultado do decréscimo da quantidade de fustes com o aumento de classes sucessivas de diâmetro, fenômeno rotineiramente identificado em comunidades vegetais não perturbadas (SANTOS et al., 2023; SILVA et al., 2023). A predominância de indivíduos em menores classes de diâmetro foi um indicativo de que o fragmento está em plena capacidade reprodutiva (FERREIRA et al., 2023; SSEMANDA; SSEKUUBWA, 2023), ainda que estejam suscetíveis a maiores taxas de mortalidade (MIRANDA et al., 2022).

O fornecimento de estimativas precisas da frequência de classes biométricas requer uma adequada aderência da função de densidade probabilística aos dados estruturais. A aderência das funções aos dados pelo teste de Kolmogorv-Smirnov ($p > 0,05$) demonstrou potencial uso de todas as funções estudadas na descrição do comportamento das estruturas diamétricas e hipsométricas no fragmento de Mata Atlântica.

A compreensão das relações entre parâmetros estatísticos das funções de densidade probabilística e características da comunidade é essencial para a administração sustentável dos recursos florestais (FERREIRA et al., 2023). No contexto específico, o parâmetro de média da função Log-normal representou uma medida de tendência central dos diâmetros amostrados. Valores mais baixos desse parâmetro estiveram relacionados a curvas biométricas deslocadas para a esquerda (Figuras 1 e 2), o que, em algumas circunstâncias, indica a necessidade de medidas para gerenciar a competição por recursos, como a implementação de estratégias seletivas para o manejo de cipós. Uma dessas estratégias, conforme proposta pelas Soluções Naturais para o Clima (NCS, na sigla em inglês), envolve a realização de dois cortes por cipó, um mais próximo ao solo e outro na máxima altura acessível ao operador (PUTZ et al., 2023).

O parâmetro de desvio padrão da função Log-normal refletiu diretamente a coexistência de uma ampla diversidade de tamanhos de fustes, especialmente diante da

presença de cipó. Tal desuniformidade biométrica pode ser em parte justificada por eventuais variações na densidade e composição dos cipós ao longo do fragmento; 42,83% dos fustes amostrados estavam com a presença de cipós. Trata-se de um indício de que a presença de cipó desempenha papel fundamental na configuração estrutural do fragmento florestal (ESTRADA-VILLEGAS et al., 2022). Este argumento está coerente com o verificado por Medina-Vega et al. (2022a), que estudaram a influência de cipós na sucessão ecológica e na forma de fustes em floresta tropical.

Os maiores valores dos parâmetros de média e desvio padrão da função Log-normal aplicada às distribuições diamétricas corresponderam às estruturas de maior curtose (presença de cipó) e assimetria (ausência de cipó), respectivamente (Tabelas 2 e 3). Ressalta-se que distribuições Log-normais são naturalmente caracterizadas pela assimetria e transformação logarítmica, tornando-as adequadas para a análise de dados com maior falta de simetria (SIANO, 1972), assim como observado para o diâmetro (Tabela 2).

A função Weibull 2P por sua vez, se mostrou bastante versátil para a modelagem da distribuição hipsométrica, abrangendo desde casos com curtose negativa até aqueles com curtose positiva, encontradas na ausência e presença de cipó, respectivamente (Tabela 2). O parâmetro de forma dos ajustes evidenciou a assimetria positiva das distribuições de altura. Esta afirmação se pautou na premissa de que o parâmetro de forma (valores abaixo de 3,6) diminui conforme a assimetria se torna progressivamente mais positiva (BAILEY; DELL, 1973). A versatilidade dessa função em se ajustar a distribuições com diferentes formas e assimetrias também foi mencionada por Bailey e Dell (1973) e Campos e Leite (2017).

Não é comum encontrar na literatura estudos que utilizam funções de densidade probabilística na modelagem de frequências de altura em domínios de Mata Atlântica. O padrão exponencial negativo não foi evidente na distribuição hipsométrica, caracterizada pela menor densidade de fustes nas menores e maiores classes de tamanho. Essa caracterização da distribuição hipsométrica está condizente com aquelas relatadas por Duarte et al. (2020) e Santos et al. (2023).

Uma hipótese para a abundância reduzida de fustes nas menores classes de altura pode ser atribuída ao impacto negativo da intensa competição sobre árvores hospedeiras presentes nesse ambiente, especialmente por radiação luminosa (LAFETÁ et al., 2023b). Frequentemente, cipós interagem com árvores pequenas à medida que sobem em direção ao dossel da floresta, suprimindo o crescimento em altura da planta hospedeira (ESTRADA-VILLEGAS et al., 2022; PETERS et al., 2023). Nesse caso, o efeito negativo da presença de cipós tende a ser mais proeminente em espécies de rápido crescimento e intolerantes à sombra

do que aquelas de crescimento lento e tolerantes à sombra (PETERS et al., 2023). Outra hipótese é a de que o fragmento em recuperação florestal esteja ingressando em novos estágios de sucessão ecológica, abrigando espécies com padrões distintos de regeneração natural e de ritmos de crescimento (BECKNELL et al., 2022; MEDINA-VEGA et al., 2022).

A análise gráfica permitiu ter um maior discernimento no julgamento das distribuições biométricas. Quando analisada a Figura 2, percebe-se claramente diferenças de comportamento entre as distribuições dos fustes com a presença e ausência de cipó. É provável que a presença de cipós da estrutura regenerante tenha influenciado negativamente o crescimento lenhoso, limitando o acesso à radiação luminosa (TAIZ et al., 2017; ESTRADA-VILLEGAS et al., 2022; WAITE et al., 2022). Isso está em consonância com as diferenças biométricas encontradas pelo teste de Wilcoxon ($p \leq 0,05$) e à maior frequência de fustes nas maiores classes de tamanho associada à ausência de cipós (Figura 1). Segundo Medina-Vega et al. (2022a), a presença de cipó atua na redução da taxa do crescimento de fustes e retardo em processos de sucessão ecológica. Por outro lado, é conveniente salientar que o crescimento vegetal decorre de um conjunto de interações bióticas e abióticas, além do próprio material genético (TAIZ et al., 2017).

A avaliação do desempenho de diferentes funções de densidade probabilística na modelagem de variáveis como o diâmetro e altura de comunidades é pertinente ao enriquecimento da literatura acerca do assunto, principalmente no que diz respeito a domínios de Mata Atlântica. A flexibilidade das funções Log-normal e Weibull foi confirmada para os dados em estudo. Os resultados obtidos subsidiam o desenvolvimento de futuras pesquisas sobre a modelagem da distribuição diamétrica em florestas naturais, monitoramento e definição de técnicas que promovam a recuperação e manejo florestal sustentável.

5 CONCLUSÃO

As funções de densidade probabilística Log-normal e Weibull 2P se mostraram promissoras para a modelagem das distribuições diamétricas e hipsométricas de fustes no fragmento de Mata Atlântica, respectivamente.

No local de estudo, as distribuições diamétricas possuem a forma de “J-invertido” e aquelas hipsométricas, maior densidade de fustes em classes intermediárias de tamanho. As distribuições biométricas dos fustes com a presença de cipó tende mais à assimetria e à variabilidade do que aquelas diante da ausência de cipó.

As dimensões dos fustes com a presença de cipó tendem a ser menores do que aquelas com ausência de cipós; as diferenças medianas foram de 26,87% para o diâmetro e de 15,85% para a altura total no fragmento sob recuperação florestal.

REFERÊNCIAS

BAILEY, R. L.; DELL, T. T. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. **Forest Science**, v. 19, n. 2, p. 97-104, 1973. <https://doi.org/10.1093/forestscience/19.2.97>

BECKNELL, J. M.; VARGAS, G. G.; WRIGHT, L. A.; WOODS, N. F.; MEDVIGY, D.; POWERS, J. S. Increasing liana abundance and associated reductions in tree growth in secondary seasonally dry tropical forest. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, 838357, 2022. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.838357>

BRITO, A. C.; PAULA, A.; BARRETA-GARCIA, P. A. B.; LIMA, R. B.; SOUZA, D. R. Diametric distribution modeling of forest species in arboreal Caatinga vegetation, Brazil. **Revista Ceres**, v. 69, n. 4, p. 464-469, 2022. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202269040011>

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/location/175926/>>. Acesso em: 25 ago 2023.

COMINI, I. B.; LIMA, G. S.; TORRES, C. M. M. E.; TORRES, F. T. P.; FIGUEIREDO, L. T. M.; CAMARGOS, V. L.; VERLY, O. M.; URGAL, T. V.; OLIVEIRA, L. P.; ROCHA, S. J. S. S. Does forest fire modify the diametric distribution of lianas? A study case in a semideciduous seasonal forest with *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze in Brazil. **South African of Botany**, v. 160, p. 201-208, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.06.058>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Portaria nº 392, de 25 de junho de 2007. Definição de vegetação primária e secundária de regeneração de Mata Atlântica no Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=6991>>. Acesso em: 25 ago 2023.

DELIGNETTE-MULLER, M. L.; DUTANG, C. An R Package for Fitting Distributions. **Journal of Statistical Software**, v. 64, n. 4, p. 1-34, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v064.i04>.

DUARTE, E.; SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; AGUIAR, J. T.; SCHLICKMANN, M. B.; LARSEN, J. G.; CUCHI, T.; VEFAGO, M. B. Estrutura populacional de *Drimys angustifolia* Miers em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, Urubici, SC. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 5, p. 30-37, 2020. <https://doi.org/10.5965/2238117118e2019030>.

ESTRADA-VILLEGAS, S.; HALL, J. S.; VAN BREUGEL, M.; SCHNITZER, S. A. Lianas reduce biomass accumulation in early successional tropical forests. **Ecology**, v. 101, e02989, 2020. <https://doi.org/10.1002/ecy.2989>

ESTRADA-VILLEGAS, S.; NARVAEZ, S. S.; SANCHEZ, A.; SCHNITZER, S. A. Lianas significantly reduce tree performance and biomass accumulation across tropical forests: a global meta-analysis. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, 812066, 2022. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.812066>

FERREIRA, F. R. L.; PELISSARI, A. L.; CYSNEIROS, V. C.; RODRIGUES, C. K.; MOURA, L. A.; MARQUES, E. R. G. Modeling diameter distribution of tree species in a semideciduous forest fragment. **Revista Árvore**, v. 47, e4701, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9088202300000001>

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

HEIJDEN, G. M. F.; PROCTOR, A. D. C.; CALDERS, K.; CHANDLER, C. J.; FIELD, R.; FOODY, R.; MOORTHY, S. M. K.; SCHNITZER, S. A.; WAITE, C. E.; BOYD, D. S. Making (remote) sense of lianas. **Journal of Ecology**, v. 110, p. 498-513, 2022. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13844>

HUNG, B. M. Tree-Size Variable frequency distribution modeling for tropical forests in Ba Be, Vietnam. **Biology Bulletin**, v. 49, n. 2, p. 135-147, 2022.

<https://doi.org/10.1134/S1062359022140072>

LAFETÁ, B. O.; MADUREIRA, N. F. S.; SANTOS, M. A.; PIMENTA, I. A.; BARBOSA, G. P.; FONTAN, I. C. I.; VIEIRA, D. Raio de competição entre árvores em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v. 20, n. 47, p. 55-62, 2023a. <https://10.18845/rfmk.v20i47.6823>

LAFETÁ, B. O.; SANTOS, M. A.; PIMENTA, I. A.; CARVALHO, G. W. A.; VIEIRA, D. S.; RODRIGUES, H. B. X. Índices de competição independentes da distância em um fragmento de Mata Atlântica. **Nativa**, v. 11, n. 3, p. 348-355, 2023b.

<https://doi.org/10.31413/nativa.v11i3.14821>

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.

<https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13286>

LIU, C.; LI, Y.; NIANPENG, H. Differential adaptation of lianas and trees in wet and dry forests revealed by trait correlation networks. **Ecological Indicators**, v. 135, 108564, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108564>

MEDINA-VEGA, J. A.; HEIJDEN, G. M. F.; SCHNITZER, S. A. Lianas decelerate tropical forest thinning during succession. **Ecology Letters**, v. 25, p. 1432-1441, 2022a.

<https://doi.org/10.1111/ele.14008>

MEDINA-VEGA, J. A.; WRIGHT, S. J.; BONGERS, F.; SCHNITZER, S. A.; STERCK, F. J. Vegetative phenologies of lianas and trees in two Neotropical forests with contrasting rainfall regimes. **New Phytologist**, v. 235, p. 457-471, 2022b.

<https://doi.org/10.1111/nph.18150>

MIRANDA, Z. P.; MAGALHÃES, A. P.; MELO NETO, P. R.; CESARINO, F. Regeneração natural de *Mora paraensis* (Ducke) Ducke em uma floresta de várzea. **Nativa**, v. 10, n. 2, p. 244-249, 2022. <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i2.12896>

PETERS, J. D. J.; PORTMANN, J. M.; GRISCOM, B. W. Lianas (*Vitis* spp.) reduce growth and carbon sequestration of light-demanding tree species in a temperate forest. **Restoration Ecology**, v. 31, n. 5, e13886, 2023. <https://doi.org/10.1111/rec.13886>

PUTZ, F. E.; CAYETANO, D. T.; BELAIR, E. P.; ELLIS, P. W.; ROOPSIND, A.; GRISCOM, B. W.; FINLAYSON, C.; FINKRAL, A.; CHO, P. P.; ROMERO, C. Liana cutting in selectively logged forests increases both carbon sequestration and timber yields. **Forest Ecology and Management**, v. 539, 121038, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121038>

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2023.

RODRÍGUEZ-RONDEROS, M. E.; BOHRER, G.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A.; POWERS, J. S.; SCHNITZER, S. A. Contribution of lianas to plant area index and canopy structure in a Panamanian forest. **Ecology**, v. 97, p. 3271-3277, 2016. <https://doi.org/10.1002/ecy.1597>

SANTOS, D. W. S.; STEPKA, T. F.; HESS, A. F. Modelagem da distribuição diamétrica e hipsométrica de espécies comerciais nativas da Amazônia brasileira. **Scientia Forestalis**. v. 51, e3947, 2023. <https://doi.org/10.18671/scifor.v51.15>

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria Florestal**: Medição, Volumetria e Gravimetria. Lavras: UFLA/FAEPE. 2004. 285p.

SEKI, M. Determination of relationships between stand variables and parameters of Weibull function for *Fagus orientalis* Libsky stands. **Journal of Forestry Faculty of Kastamonu University**. v. 22, n. 1, 68-77, 2022. <https://doi.org/10.17475/kastorman.1095907>

SHIM, H.; BONIFAY, W.; WIEDERMANN, W. Parsimonious asymmetric item response theory modeling with the complementary log-log link. **Behavior Research Methods**, v. 55, p. 200-219, 2023. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-01824-5>

SIANO, D. B. The log-normal distribution function. **Journal of Chemical Education**, v. 49, n. 11, p. 755-757, 1972.

SILVA, V. V.; NICOLETTI, M. F.; DOBNER JR., M.; VAZ, D. R. Manejo da floresta ombrófila mista a partir da distribuição diamétrica: uma revisão bibliográfica. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 8, n. 1, p. 24-32, 2023. <https://doi.org/10.5380/biofix.v5i1.87163>

SMITH-MARTIN, C. M.; JANSEN, S.; BRODRIBB, T. J.; MEDINA-VEGA, J. A.; LUCANI, C.; HUPPENBERGER, A.; POWERS, J. S. Lianas and Trees From a Seasonally dry and a wet tropical forest did not differ in embolism resistance but did differ in xylem anatomical traits in the dry forest. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, 834891, 2022. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.834891>

SSEMANDA, D. M.; SSEKUUBWA, E. *Broussonetia papyrifera* invasion reduces the abundance and basal area of selected native timber species in a tropical moist forest in Uganda. **Biological Invasions**, v. 25, p. 165-178, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02906-3>

STURGES, H. A. The choice of a class interval. **Journal of the American Statistical Association**, v. 21, n. 153, p. 65-66, 1926. DOI: <https://10.1080/01621459.1926.10502161>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

WAITE, C. E.; H, G. M. F.; FIELD, R.; BURSLEM, D. F. R. P.; DALLING, J. W.; NILUS, R.; RODRÍGUES-RONDEROS, M. E.; MARSHALL, A. R.; BOYD, D. S. Landscape-scale drivers of liana load across a Southeast Asian forest canopy differ to the Neotropics. **Journal of Ecology**, v. 111, p. 77-89, 2022. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14015>